

Zeitnah, nacheinander im Block trainierte Gleichgewichts- lernaufgaben führen bei jungen Erwachsenen zu keiner Interferenz

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Gesundheit und Forschung

eingereicht von

Sven Egger

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Departement für Medizin

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Prof. Dr. Wolfgang Taube

Betreuer
PhD Student Michael Wälchli

Fribourg, August 2017

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Einleitung	4
1.1 Einführung in das Thema	4
1.2 Hintergrund und Ausgangslage	5
1.3 Ziel und konkrete Fragestellungen der Arbeit.....	19
2 Methode.....	21
2.1 Probanden.....	21
2.2 Untersuchungsdesign	22
2.3 Untersuchungsinstrumente	24
2.4 Auswertung und statistische Analyse.....	28
3 Resultate	29
4 Diskussion	31
4.1 Keine Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben	31
4.2 Fortschritte Gleichgewichtslernaufgaben.....	36
5 Schlussfolgerung	39
Literatur	40
Anhang (Probandenblatt)	45
Dank	46

Zusammenfassung

Einleitung: Mehrere Studien konnten zeigen, dass bei motorischem Lernen Interferenz auftritt. Sie präzisieren, dass motorische Lernaufgaben anfällig für Interferenz werden, sobald die konkurrierenden Lernaufgaben muskel- und bewegungsspezifisch zueinander sind. Diese Lernstörungen scheinen vor allem mit der Gedächtniskonsolidierung in Verbindung zu stehen. Das Ziel der Arbeit war es, zu untersuchen, ob das Phänomen der Interferenz auf bewegungsspezifische Gleichgewichtslernaufgaben erweiterbar ist.

Methode: Die Rekrutierung von 61 Versuchspersonen erlaubte es, randomisiert vier Gruppen (Kreisel, Kippbrett, Stabilometer, Kontrolle) à 15-16 Probanden zu erstellen. Das Untersuchungsdesign beinhaltete, das beim Interferenzlernen übliche Testsetting A-B-A. Alle Versuchspersonen absolvierten vier Serien à vier Versuche auf einer Wippe (Task-A1-A4), gefolgt von vier Serien à vier Versuchen auf dem Interferenzgleichgewichtsgerät (Task-B1-B4) und schlossen das Testprozedere erneut mit vier Serien à vier Versuche auf der Wippe ab (Task-A5-A8). Der Interferenztask war gemäss Gruppeneinteilung für die Probanden vorbestimmt. Mit Hilfe einer Varianzanalyse wurde überprüft, ob signifikante Effekte für die verschiedenen Faktoren (Serie, Gerät, Serie*Gerät) vorhanden sind.

Resultate: Zwischen der letzten Serie der ersten Lernphase (Task-A4) und der ersten Serie der zweiten Lernphase (Task-A5) konnten mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung keine signifikanten Unterschiede berechnet werden. Die Probanden verbesserten ihre Leistungen während jeder Lernphase (A1-A4; B1-B4; A5-A8) signifikant.

Diskussion und Schlussfolgerung: Die Resultate zeigen deutlich, dass sowohl bewegungsspezifische wie auch bewegungsunspezifische, zeitnah nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben zu keiner Interferenz führen. Somit erlauben die Resultate keine Ausweitung des Interferenzphänomens von einfachen motorischen Lernaufgaben auf komplexe Gleichgewichtslernaufgaben. Die Gedächtniskonsolidierung oder die Frage der Komplexität von motorischen Lernaufgaben können als mögliche Erklärungsansätze dafür dienen. Die Versuchspersonen erzielten in den einzelnen Lernphasen kurzfristig aufgabenspezifische Lernfortschritte, welche höchst signifikant ausfielen. Um Gleichgewichtslernaufgaben als Interferenz resistent zu bezeichnen, braucht es weitere, differenziertere Untersuchungen, welche die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen. Sollten zukünftige Forschungsarbeiten zu gleichen Resultaten führen, müssen klassische Gleichgewichtstrainings oder Rehabilitationsprogramme nicht in Frage gestellt werden.

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema

Um den Einstieg in die Thematik zu erleichtern, werden zu Beginn einige ausgewählte Begriffe erläutert und definiert, was in den Bewegungswissenschaften darunter verstanden wird. Als Erstes wird der Begriff Konsolidierung aufgenommen. Wenn jemand etwas Neues erlernt, wird dieses nicht sofort gefestigt, sondern es braucht Zeit damit sich das Gelernte stabilisiert. Konsolidierung ist der Fachbegriff für diese Festigung des Gedächtnisses. Bereits vor mehr als 100 Jahren sprachen Müller und Pilzecker (1900) von Gedächtniskonsolidierung. Sie fanden heraus, dass sich erlernte Wortlisten mit der Zeit stabilisieren. Laut den Studien von Brashers-Krug, Shadmehr und Bizzi, (1996) und Lundbye-Jensen, Petersen, Rothwell und Nielsen (2011) reichen vier Stunden Pause aus, um das motorische Gedächtnis zu konsolidieren. Zudem scheint der Schlaf einen positiven Effekt auf die Konsolidierung des motorischen Gedächtnisses zu haben. Dies verdeutlicht die Studie von Morita, Ogawa, und Uchida (2016). Sie bildeten in ihrer Untersuchung zwei Gruppen, welche das Jonglieren erlernten. Nach der ersten Lernphase durfte eine Gruppe 70 Minuten lang schlafen und die andere Gruppe musste während der gleichen Zeit wach bleiben. Schon die kurze Schlafphase von 70 Minuten führte zu signifikanten Leistungsverbesserungen beim Retentionstest. Für weitere Informationen zur Beeinflussung und involvierter Prozesse der Konsolidierung empfiehlt sich das Review von McGaugh (2000).

Um die Gedächtniskonsolidierung zu überprüfen, wird häufig ein sogenannter Retentionstest durchgeführt. Was zum nächsten Fachbegriff - Retention - überleitet. Unter Retention wird verstanden, wieviel von einer initialen Lernphase zu Beginn einer zweiten Lernphase übrig bleibt (Schmidt & Lee, 2011). Abbildung 1 veranschaulicht auf eine einfache Art, wie die Retention gemessen wird.

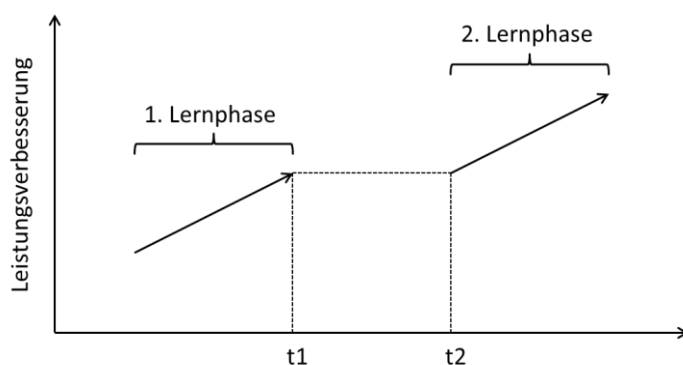


Abbildung 1. t_1 = Ende der ersten Lernphase. t_2 = Beginn der 2. Lernphase und somit Kontrollzeitpunkt, um die Retention festzustellen. Erhält man Resultate wie in Abb. 1 ersichtlich, kann von einer vollständigen Konsolidierung des Gelernten gesprochen werden.

Die Retention kann während der Konsolidierungsphase durch Interferenz gestört werden. Von Interferenz wird gesprochen, wenn die Abspeicherung einer Lernaufgabe durch eine zweite Lernaufgabe gestört wird. Robertson, Pascual-Leone und Miall (2004) unterteilen die Interferenz in eine proaktive und eine retroaktive Interferenz (Abb. 2). Der Begriff Interferenz wird im folgenden Unterkapitel wieder aufgegriffen.

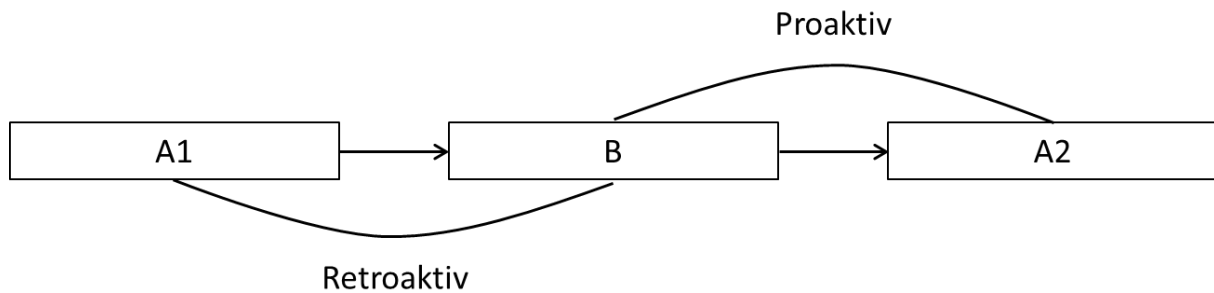


Abbildung 2. Robertson und Kollegen (2004) sprechen von retroaktiver Interferenz, wenn der Task B die Retention von Task A1 stört. Wird die Wiedergabe von Task A2 von Task B beeinträchtigt, sprechen sie von proaktiver Interferenz. Die retroaktive Interferenz stört somit die Konsolidierung des Gedächtnisses und die proaktive Interferenz stört die Wiedergabe des Gelernten (S. 5).

Als nächstes wird der Begriff Gleichgewicht aufgenommen. In der bestehenden Literatur wird das Gleichgewicht in zwei Bereiche unterteilt, einerseits in statisches und andererseits in dynamisches Gleichgewicht (Granacher, Gollhofer & Kriemler, 2010; Granacher, Muehlbauer, Maestrini, Zahner, & Gollhofer, 2011; Taube, Lorch, Zeiter & Keller, 2014). Statisches Gleichgewicht herrscht, wenn alle auf den Körper einwirkenden Momente ausbalanciert sind und eine spezifische Körperposition gehalten werden kann. Ein Beispiel dafür ist die Standwaage. Im Gegensatz zum statischen Gleichgewicht muss beim dynamischen Gleichgewicht der Körper während Bewegung im Gleichgewicht gehalten werden. Dies ist der Fall, sobald das Gleichgewicht auf einer instabilen Unterlage trainiert oder die Gleichgewichtsfähigkeit in einer spezifischen Sportart eingesetzt wird.

1.2 Hintergrund und Ausgangslage

Dieses Unterkapitel befasst sich mit den drei relevanten Bereichen der vorliegenden Arbeit. Bei den drei Bereichen handelt es sich um Interferenz, Gleichgewicht und Augmented Feedback (AF).

1.2.1 Interferenz. Wie in der Einführung in die Thematik erläutert wurde, spricht man in den Bewegungswissenschaften von Interferenz, wenn die Festigung einer motorischen Lernaufgabe durch eine zweite unverzüglich, anschliessende Lernaufgabe gestört wird. Das bedeutet, dass die Konsolidierung der ersten Lernaufgabe beeinträchtigt wird.

In pioneering studies with human subjects, they found that memory of newly learned information was disrupted by the learning of other information shortly after the original learning and suggested that processes underlying new memories initially persist in a fragile state and consolidate over time. (McGaugh, 2000, S. 248)

Diese Aussage unterstützen Meinel und Schnabel (2007) und erwähnen, dass auch im Bewegungslernen Interferenz auftreten kann. Sie gehen davon aus, dass Interferenz vorhanden ist, wenn sich Lernprozesse gegenseitig stören oder löschen. Die Literatur unterscheidet dabei die pro- und retroaktive Interferenz (siehe Kapitel 1.1). Jedoch scheint beim motorischen Lernen vor allem die retroaktive Interferenz von Bedeutung zu sein (Lewis & Miles, 1956). Diese Theorie wird durch das Zitat aus der Studie von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) unterstützt: «Humans are capable of learning numerous motor skills, but newly acquired skills may be abolished by subsequent learning» (S.1).

1.2.2 Interferenz und motorisches Lernen. Brashers-Krug und Kollegen (1996) konnten anhand eines Experimentes bei motorischen Lernaufgaben Interferenz nachweisen. Die Versuchspersonen mussten dabei einen mechanischen Arm so bewegen, dass sie eine Linie in ein zehn Zentimeter entferntes Viereck zeichnen konnten. Die Forscher konnten verschiedene Kräfte auf den mechanischen Arm einwirken lassen. Somit wurde gewährleistet, dass die Probanden eine Lernphase benötigten, um die Vierecke präzise mit der Linie anzusteuern (Task-A). Um Interferenz auszulösen, haben Brashers-Krug und Kollegen (1996) bei der sogenannten «no-break group» direkt nach dem Erlernen von Task-A einen Task-B lernen lassen. Beim Task-B handelte es sich um eine gleiche Aufgabe wie bei Task-A, jedoch wurden die auf den Arm einwirkenden Kräfte verändert. Dadurch mussten die Probanden erneut lernen, wie sie den Arm bewegen mussten, damit sie die Vierecke exakt ansteuern konnten. Am darauf folgenden Tag mussten die Versuchspersonen das Experiment wiederholen, jedoch absolvierten sie dieses Mal nur Task-A. Die Forscher fanden heraus, dass Task-B bei den Versuchspersonen Interferenz auslöste und nannten dieses Phänomen retrograde (anderes Wort für retroaktiv) Interferenz. Die no-break group blieb dementsprechend auf dem gleichen Niveau wie am Vortag. Es wurde keine Retention entdeckt. Die Kontrollgruppe, welche am ersten Tag nur Task-A trainierte, verbesserte ihre Leistung am darauf folgenden Tag hingegen signifikant.

Interessanterweise hatten Brashers-Krug und Kollegen (1996) noch eine dritte Gruppe, welche ihre Leistungen vom Vortag signifikant erhöhen konnte. Diese Gruppe hatte am ersten Tag nach Task-A vier Stunden Pause bevor sie Task-B trainierten. Eine Pause von vier Stunden zwischen zwei Lernaufgaben scheint somit gegen Interferenz zu schützen.

Nach der Studie von Brashers-Krug und Kollegen (1996) haben Shadmehr und Brashers-Krug (1997) eine weiterführende Untersuchung durchgeführt. Das Studiendesign war ähnlich wie bei der Studie von 1996. Wiederum mussten die Versuchspersonen einen Roboterarm bewegen, welcher durch mechanisch einwirkende Kräfte manipuliert wurde. Erneut konnten diese Forscher zeigen, dass es eine gewisse Pause zwischen zwei Lernaufgaben braucht, um beide zu festigen. In dieser Studie konnten die Versuchspersonen beide Lernaufgaben festigen, sobald sie fünfeinhalb Stunden Pause hatten. Die Versuchspersonen welche fünf Minuten, 30 Minuten oder zweieinhalb Stunden Pause zwischen den zwei Lernaufgaben hatten, wiesen Interferenz auf.

Goedert und Willingham (2002) untersuchten die Interferenz beim Erlernen einer Bewegungsabfolge. Sie wollten testen, ob eine Konsolidierung von zwei impliziten motorischen Lernaufgaben möglich ist. Bei den Lernaufgaben handelte es sich um einen «serial response time» Task. Dabei mussten die Versuchspersonen so schnell wie möglich versuchen die räumliche Anordnung von erscheinenden Kreisen zu identifizieren. In dem sie die entsprechenden Taste auf einer Computertastatur drückten, konnten sie dies bewerkstelligen. Die Kreise erschienen in einer sich wiederholenden Reihenfolge. Dies war den Versuchspersonen jedoch nicht bekannt. Je mehr Versuche ausgeübt wurden, desto besser wurde die Reaktionszeit der Versuchspersonen. Jede Versuchsperson erlernte Task-A und wurde 48 Stunden später erneut zu Task-A getestet. Zwischen diesen zwei Messzeitpunkten haben einige Probanden einen zweiten Task (Task-B) erlernt. Task-B war gleich wie Task-A nur war die Reihenfolge der erscheinenden Kreise unterschiedlich. Nicht alle Versuchspersonen hatten gleich lange Pausen zwischen dem Erlernen der zwei Tasks. Die Pausen variierten dabei von fünf Minuten, einer Stunde, fünf Stunden bis hin zu 24 Stunden. Durch dieses Untersuchungsdesign fanden die Forscher heraus, dass auch längere Pausen zwischen dem Erlernen von zwei serial response time Tasks nicht vollkommen vor Interferenz schützen. Denn sie entdeckten bei allen Pausenlängen Interferenz. Sie argumentierten, dass ihre Resultate nicht mit der Konsolidierungstheorie von motorischen Lernaufgaben übereinstimmten, weil die Probanden in ihrer Studie eine Bewegungssequenz erlernen mussten und sich somit von der Kraftfeldaufgabe von Brashers-Krug und Kollegen (1996) unterscheidet. Denn es ging bei der Untersuchung

von Goedert und Willingham (2002) primär um die Reaktionszeit und nicht um das Erlernen einer motorischen Lernaufgabe.

Zusammenfassend scheinen vier bis sechs Stunden Pause zwischen dem Erlernen zwei motorischen Lernaufgaben vor Interferenz zu schützen. Jedoch sind die Angaben mit Vorsicht zu interpretieren. Denn es gibt vereinzelte Studien die gegen die vollkommene Festigung des motorischen Gedächtnisses innerhalb von einigen Stunden sprechen.

Dies verdeutlichen die Ergebnisse von Caithness und Kollegen (2004). Sie unterstützen die Idee nicht, dass sich die motorischen Erinnerungen nach vier bis sechs Stunden Pause in einen geschützten Zustand verwandeln. Sie konnten zeigen, dass das Gelernte 24 Stunden oder sogar bis zu einer Woche immer noch anfällig für Interferenz war.

1.2.3 Konsolidierung motorischer Lernaufgaben. Wie erwähnt tritt Interferenz auf, solange das Gelernte noch nicht konsolidiert ist. Für die Konsolidierung ist jedoch eine gewisse Zeit nötig. Häufig wird von vier bis sechs Stunden gesprochen (Brashers-Krug und Kollegen, 1996; Shadmehr & Brashers-Krug, 1997). In welchem Hirnareal das Gelernte verarbeitet und beibehalten wird bis zur Konsolidierung, war jedoch lange nicht nachgewiesen. Bis Muellbacher und Kollegen (2002) sich mit dieser Thematik beschäftigten. Sie vermuteten, dass der primär motorische Kortex (M1) in der frühen Lernphase einer motorischen Lernaufgabe involviert sei. Sie haben ihre Probanden schnelle Fingerbewegungen absolvieren lassen. Dabei haben sie festgestellt, dass diese in kurzer Zeit schnellere und kräftigere Fingerbewegungen ausführen konnten. Sofort nach dem Erlernen der Fingerbewegungen gelang es den Forschern die Lernfortschritte mittels niederfrequenten, repetitiven transkraniellen magnetischen Stimulationen (rTMS) des motorischen Kortexes zu verringern. Während die Gruppe ohne rTMS die Geschwindigkeit und Kraft der Fingerbewegungen kontinuierlich steigern konnte, konnte die rTMS-Gruppe ihre Fortschritte nicht beibehalten. Bei der Geschwindigkeitsentwicklung fielen die Versuchspersonen sogar auf das Ausgangsniveau zurück. Wenn die Versuchspersonen eine sechsstündige Pause hatten bevor sie den rTMS ausgesetzt wurden, war die Interferenz weniger stark ausgeprägt. Zudem konnten Muellbacher und Kollegen (2002) zeigen, dass rTMS von anderen Hirnregionen (präfrontaler Kortex, Occipitallappen) zu keiner Interferenz führten. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass der menschliche M1 vor allem in der frühen Phase von motorischen Konsolidierungen integriert ist.

Cothros, Köhler, Dickie, Mirsattari und Gribble (2006) beschäftigten sich weiter mit rTMS und Interferenz. Sie bestätigen die Ergebnisse von Muellbacher und Kollegen (2002) und präzisierten, dass rTMS die Retention beeinträchtigte und die proaktive Interferenz minimierte.

Diese Resultate untermauern, dass der M1 beim Interferenzparadigma ein entscheidender Faktor zu sein scheint.

1.2.4 Interferenz und Trainingsmodalitäten. Robertson und Kollegen (2004) decken in ihrem Review auf, dass nicht alle Lernprotokolle gleich anfällig für Interferenz sind. Sie erwähnen, dass Blocktrainings eher Interferenz auslösen als randomisierte Trainings (Abb. 3). Zudem berichten sie, dass nicht alle motorischen Lernaufgaben anfällig für Interferenz seien.

a

Task-A	Task-B	Task-C
--------	--------	--------

b

Task-B	Task-C	Task-C	Task-B	Task-A	Task-C	Task-A	Task-B	Task-A
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Abbildung 3. Laut Robertson und Kollegen (2004) kann mittels des Trainingsprotokolls wie in a (Blocktraining) nur ein Task erlernt werden. Mit dem Trainingsprotokoll b (randomisiert) soll es möglich sein alle Tasks zu erlernen. Dadurch scheint Blocktraining viel anfälliger für Interferenz zu sein.

Krakauer, Ghez, und Ghilardi (2005) versuchten mit Hilfe einiger Experimente herauszufinden, inwiefern visuomotorische Lernaufgaben vor Interferenz geschützt werden können. Sie kamen zum Schluss, dass Rotationslernen weniger anfällig für Interferenz wird, wenn die Erstausbildung erhöht war. Genauer trat weniger Interferenz auf, wenn die Lernphase des Tasks verdoppelt wurde. Sogar wenn die Pausendauer zwischen den zwei verschiedenen Rotationslernaufgaben nur fünf Minuten betrug, trat durch die Verdoppelung der Lernphase keine Interferenz auf. Ohne die Verdoppelung der Erstausbildung konnten sie auch bei einer Pause von 24 Stunden zwischen den zwei Rotationslernaufgaben Interferenz nachweisen. Weiter konnten sie zeigen, dass das Konsolidierte besser wiedergegeben werden kann, wenn man es täglich in kleinen Umfängen anstatt selten in Grossen Umfängen trainiert. Krakauer (2009) bestätigt seine Resultate von 2005 und geht einen Schritt weiter. Er berichtet, dass Sättigungslernen zu Konsolidierung führt. Lernen die Versuchspersonen den Task solange, bis sie praktisch keine Fortschritte mehr machen, sind sie weniger anfällig auf Interferenz. Mit diesem Sättigungslernen hat Krakauer (2009) aufgezeigt, dass visuomotorische Lernaufgaben nicht zwingend Zeit brauchen, um zu konsolidieren, sondern dass eine lange Erstausbildung der Konsolidierung hilft.

Cothros, Wong und Gribble (2009) wollten in ihrer Studie herausfinden inwiefern ein visuelles Feedback dem motorischen Lernen hilft. Bei ihrem Experiment mussten die Versuchspersonen

sonen lernen einen Roboterarm zu bewegen, ähnlich wie es bei Brashers-Krug und Kollegen (1996) praktiziert wurde. Sie kamen zum Schluss, dass gezielte visuelle Rückmeldungen vor Interferenz schützen können.

Walker, Brakefield, Hobson und Stickgold (2003) fanden heraus, dass gespeicherte motorische Aufgaben, durch erneute kurze Wiederholungen dieser Aufgabe, wieder anfällig für Interferenz werden. Sie haben dies mittels eines Finger-Tipp-Tasks untersucht. Die Versuchspersonen lernten dabei ein bestimmtes Tippmuster mit ihrer nicht dominanten Hand. Sie fassen ihre Resultate wie folgt zusammen:

- (1) during initial training, learning occurs, leading to significant performance improvements;
- (2) between 10 minutes and 6 hours later, without intervening sleep, the memory undergoes the first, stabilization phase of consolidation, making it resistant to interference from a competing memory, but producing no improvement in speed or accuracy;
- (3) during the subsequent night, a second, enhancement stage of consolidation occurs, increasing both performance speed and accuracy on the task;
- (4) despite now having undergone both stabilization and enhancement, brief periods of rehearsal return the memory to a labile state, rendering it once again vulnerable to interference from a competing motor pattern, and in need of reconsolidation. (Walker, 2003, S. 618)

1.2.5 Spezifität. Es kann nicht nur bei der trainierten Seite (z.B. Zeigefinger der rechten Hand) zu Interferenz kommen sondern auch auf der kontralateralen untrainierten Seite (in diesem Beispiel beim Zeigefinger der linken Hand). Zu diesen Ergebnissen kamen Lauber und Kollegen (2013), als sie zu diesem Thema Untersuchungen durchführten. Task-A war bei diesen Autoren eine Flexionsbewegung des Zeigefingers (ballistische Kraftaufgabe). Als Interferenz Task diente ihnen ein Genauigkeitstask. Sie konnten nachweisen, dass nach einer Anzahl an Trainingswiederholungen sowohl die trainierte Seite wie auch die untrainierte Seite in der Kraftaufgabe besser wurden. Als die Probanden nach dem Interferenztask die Kraftübung erneut durchführten, bemerkten die Forscher, dass die Konsolidierung auf beiden Seiten gestört wurde. Die Störung hing mit der Ausführungshäufigkeit vom Interferenztask zusammen. Je mehr der Interferenztask ausgeführt wurde, desto mehr wurde die Konsolidierung gestört.

Die Studie von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) konnte zeigen, dass bei ballistischen Kraftaufgaben Interferenz auftreten kann. Die Störung dieser Kraftaufgabe wurde durch eine Genauigkeitsaufgabe hervorgerufen. Bei ihrem Experiment mussten die Versuchspersonen

auf einem Stuhl Platz nehmen. Ihr Fussgelenk wurde befestigt und sie konnten mittels Plantar Flexion ein Pedal betätigen. Während der Kraftaufgabe mussten die Versuchspersonen dieses Pedal möglichst stark nach unten drücken. Bei der Genauigkeitsaufgabe mussten die Versuchspersonen entweder mittels Plantar Flexion oder Dorsal Extension möglichst genau eine Linie nachfahren. Abbildung 4 gibt eine Übersicht zum Studiendesign und was die Versuchspersonen als Zweitaufgabe absolvierten mussten.

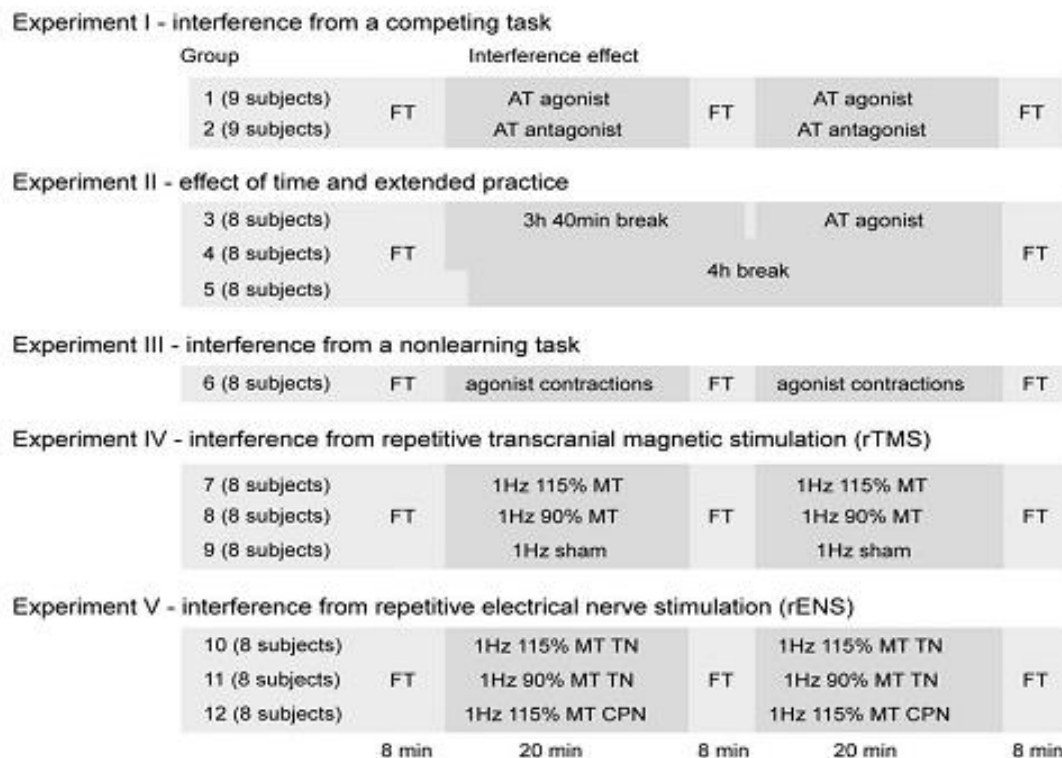


Abbildung 4. Studiendesign zur Untersuchung von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011, S.3). FT = Ballistische Kraftaufgabe. AT = Genauigkeitsaufgabe. MT = Motorische Schwelle. TN = Schienbeinnerv. CPN = Herkömmlicher Wadenbeinnerv.

Die Resultate von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) fassen die wichtigsten Erkenntnisse im Bereich des motorischen Lernens und der Interferenz zusammen. Die Forscher präzisieren, dass nur Interferenz auftritt, wenn bei der konkurrierenden Aufgabe die gleichen Muskeln und die gleiche Bewegungsrichtung trainiert werden, wie bei der eigentlichen Lernaufgabe. Somit kann interpretiert werden, dass eine Muskel- oder Bewegungsspezifität zwischen den zwei Lernaufgaben notwendig ist, dass sie sich gegenseitig stören. Deswegen spekulieren die Autoren, dass die Lernaufgaben konkurrierende Prozesse der synaptischen Plastizität mit sich bringen müssen. Weiter zeigten sie, dass die zweite Aufgabe eine Lernaufgabe sein muss, damit Interferenz auftreten kann. Handelte es sich bei der zweiten Aufgabe um eine «Nicht-

Lernaufgabe», beobachteten sie daher keine Interferenz. Eine vierstündige Pause zwischen den zwei Lernaufgaben schützte vor Interferenz, was die Resultate von Brashers-Krug und Kollegen (1996) untermauert. Dadurch ist es zwingend, dass die Interferenz Lernaufgabe kurzfristig nach der primären Lernaufgabe ausgeübt wird. Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) konnten als erste zeigen, dass periphere Nervenstimulationen, des in der ersten Lernaufgabe benötigten Muskels, Interferenz hervorrufen können. Jedoch nur, wenn der Agonist stimuliert wurde. Dies unterstreicht, dass die Muskel- und Bewegungsspezifität beim Interferenzparadigma eine wichtige Bedeutung einnimmt.

1.2.6 Gleichgewicht. Gleichgewicht ist ein Thema, welches sehr oft für wissenschaftliche Studien ins Auge gefasst wird. Verschiedenste wissenschaftliche Bereiche, wie die Neuro- oder Bewegungswissenschaften, Ärzte oder Physiotherapeuten und Kinder- oder Seniorenforschung beschäftigen sich damit. Nicht zuletzt wegen dieser enormen Vielfalt von wissenschaftlichen Bereichen ist das Thema Gleichgewicht in der Literatur fest verankert. Durch diese Literatur wird mehr oder weniger klar, welche Systeme zuständig sind, um eine gute Gleichgewichtsfähigkeit zu erlangen.

1.2.7 Involvierte Systeme. Seit einigen Jahren ist bekannt, dass bei der Gleichgewichtsfähigkeit verschiedenste Systeme involviert sind. Taube, Gruber und Gollhofer (2008) unterteilen diese Systeme in zwei Bereiche: In einen sensorischen und in einen motorischen Bereich. Zu den sensorischen Systemen gehören der Sehsinn und Tastsinn, der Vestibulärapparat, und die Propriozeptoren. Beim motorischen Bereich sind die Systeme involviert, welche die muskuläre Antwort kontrollieren. Dazu gehören laut Taube und Kollegen (2008) das Rückenmark, der Hirnstamm, die Basalganglien, das Kleinhirn und der motorische Kortex. In ihrem Review gehen die Autoren einen Schritt weiter und unterteilen diese Strukturen des Zentralnervensystems (ZNS) in drei Kategorien (Abb. 5).

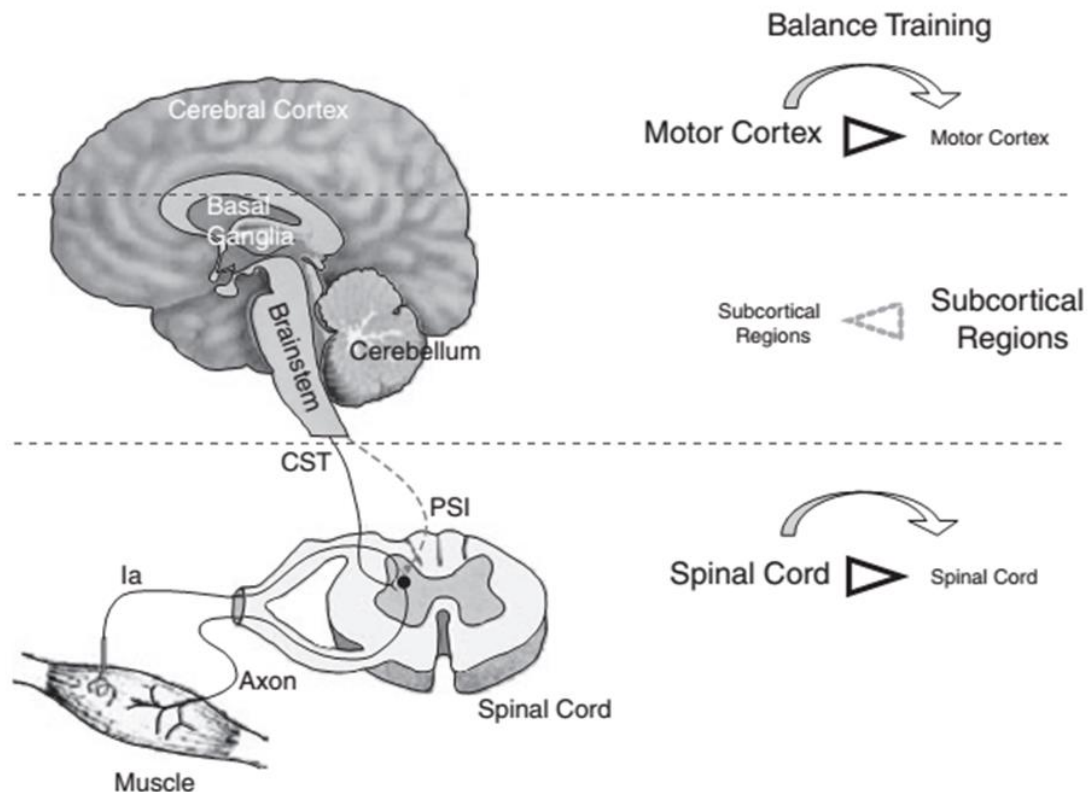


Abbildung 5. Auf der linken Seite sind diejenigen Strukturen des Zentralnervensystems (ZNS) ersichtlich, bei welchen vermutet wird, dass sie eine bedeutende Rolle einnehmen für die Erhaltung und Steuerung von Gleichgewicht. Gleichgewichtstraining soll spinale Reflexe verringern, weil die präsynaptische Inhibition (PSI), welche durch die supraspinalen Regionen gesteuert wird, zunimmt. Eine reduzierte Einmischung des motorischen Kortexes ist eine weitere Anpassung von Gleichgewichtstraining. Es wird zudem angenommen, dass durch Gleichgewichtstraining vor allem die subkortikalen Areale angesprochen werden (Taube, 2008, S. 111).

Die Wichtigkeit des Sehsinns für die Gleichgewichtsfähigkeit wurde in der Literatur mehrmals unterstrichen (Hafström, Fransson, Karlberg, Ledin & Magnusson, 2002; Taube, Leukel Gollhofer, 2008). Die Studie von Taube und Kollegen (2008) fand heraus, dass durch die optische Fixierung eines Punktes im Raum die aufrechte Haltung ruhiger wurde.

Eine weitere Studie, welche die Wichtigkeit vom sensorischen System aufzeigte, war diejenige von Fitzpatrick, Rogers und McCloskey (1994). Sie konnten zeigen, dass der aufrechte Stand selbst dann noch möglich ist, wenn visuelle, vestibuläre und taktile Informationen fehlen. Dies bestätigt den Einfluss des somatosensorischen Systems auf das Gleichgewicht.

Für die kutane Sensorik haben Lackner und Kollegen (1999) mittels eines Experimentes herausgefunden, dass eine schwache taktile Hilfe die aufrechte Haltung unterstützt.

Nashner, Shupert, Horak und Black (1989) konnten zeigen, dass Schäden am Vestibulärapparat die Gleichgewichtsfähigkeit beeinträchtigen. Die erwähnten sensorischen Systeme (Seh-

sinn, Tastsinn, Vestibulärapparat, Propriozeptoren) arbeiten zusammen, um das Gleichgewicht aufrechtzuerhalten.

Durch die Unterteilung von Taube und Kollegen (2008) in drei Kategorien (Abb. 5), kann die Verarbeitung der sensorischen Informationen auf drei Ebenen erfolgen. Die schnellste Verarbeitung erfolgt auf der Ebene des Rückenmarks. Ist für die Verarbeitung mehr Zeit vorhanden, schalten sich die supraspinalen Systeme mit ein. Taube und Kollegen (2008) gehen davon aus, dass dies der Fall ist ab 90-100 ms. Inwiefern nachgewiesen wurde, welche Systeme des ZNS bei Gleichgewichtsaufgaben involviert sind und mit welchen Methoden die Involvierung untersucht wurde, empfiehlt sich das Review von Taube und Kollegen aus dem Jahre 2008. Sie fassen wie folgt zusammen: «This is not only relevant for patients and elderly adults but also for athletes. The underlying neural adaptations were shown to occur at different sites of the central nervous system and the plasticity of the spinal, corticospinal and cortical pathways proved to be highly task specific» (Taube und Kollegen, 2008, S. 111).

1.2.8 Wie wird die Gleichgewichtsfähigkeit gemessen. Wie in Kapitel 1.1 beschrieben wurde, gibt es zwei Formen von Gleichgewicht, nämlich das statische und das dynamische Gleichgewicht. Die statische Gleichgewichtsfähigkeit wird meistens mittels dem Testprozedere Centre of Pressure (COP) gemessen. Das heisst, dass die Versuchspersonen ein- oder zweibeinig auf einer Gleichgewichtsplattform oder Kraftmessplatte stehen und dabei versuchen so ruhig wie möglich stehen zu bleiben. Der Schwankweg des Druckmittelpunktes definiert somit die Leistung der Versuchspersonen. Je geringer der Schwankweg, desto besser die Gleichgewichtsfähigkeit. Eine solche Analyse der Gleichgewichtsfähigkeit haben zum Beispiel Granacher und Kollegen (2010) bei Jugendlichen oder Granacher und Kollegen (2011) bei Kindern angewendet. Wird die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit gemessen, muss die Messplattform beweglich sein. Dabei kann wieder der Schwankweg des Druckmittelpunktes oder die Winkelveränderungen der Gleichgewichtsgeräte betrachtet werden. Eine solche freischwingende Plattform nutzen Taube und Kollegen (2014) für ihre Untersuchungen. Das Gleichgewicht wird im Alltag allerdings zum grössten Teil bei unterschiedlichsten Aufgaben oder sportlichen Betätigungen notwendig. Darum würde es Sinn machen, das Gleichgewicht nicht nur auf statischen oder dynamischen Messplattformen zu testen, sondern in möglichst unterschiedlichen Testsituationen. Solche funktionellen Tests sind jedoch oft schwierig zu standardisieren. Ein Beispiel eines standardisierten Gleichgewichtstest lieferten Duncan, Weiner, Chandler, Studenski (1990), als sie den Functional Reach Test einführten. Rasool an George (2007) nutzen in ihren Untersuchungen, von einem einbeinigen Gleichgewichtstrai-

ning auf die dynamische Gleichgewichtsfähigkeit, den sogenannten Star Excursion Balance Test, um die Fortschritte ihrer Versuchspersonen zu ermitteln. Um die Gleichgewichtsfähigkeit zu überprüfen, braucht es nicht zwingendermassen einen standardisierten Test aus der Literatur. Gelingt es eine Gleichgewichtsunterlage mittels einer Kraftmessplatte oder ähnlichem mit einem Computerprogramm zu verbinden, ist es möglich, die Leistungen der Versuchspersonen anhand von Pre- und Posttests zu analysieren.

1.2.9 Wie soll Gleichgewicht trainiert werden. Die Arbeiten von verschiedenen Forschungsgruppen haben gezeigt, wie viel trainiert werden muss, um optimale Fortschritte zu erzielen. DiStefano, Clark und Padua (2009) erläutern in ihrem Review, dass Gleichgewichtstrainings mindestens zehn Minuten pro Tag, drei Tage pro Woche und vier Wochen dauern müssen, um die Gleichgewichtsfähigkeit zu verbessern. Ihre Versuchspersonen mussten während den Trainings auf Kippbrettern und instabilen Unterlagen trainieren. Zusätzlich mussten sie dynamische Übungen absolvieren, bei denen das Gleichgewicht aufrecht erhalten werden musste. Einige Jahre später veröffentlichten Lesinski, Hortobagyi, Muehlbauer, Gollhofer und Granacher (2015a) in ihrer Meta-Analyse für junge Erwachsene weitere Trainingsempfehlungen. Dabei wurden die besten Effekte erzielt, wenn die Trainingsperiode elf bis zwölf Wochen dauerte, mindestens 16 bis 19 Trainingseinheiten absolviert wurden, diese Einheiten auf drei oder sechs Trainings pro Woche aufgeteilt wurden und die einzelne Trainingseinheit zwischen elf bis 15 Minuten dauerte. Eine Trainingseinheit musste zudem vier Gleichgewichtsaufgaben enthalten, welche jeweils zwei Mal trainiert werden mussten. Die Trainingszeit pro Gerät musste zwischen 21 und 40 s dauern. Die gleichen Autoren (2015b) kamen bei der Untersuchung für ältere, gesunde Erwachsene zu ähnlichen Resultaten (elf bis zwölf Wochen Training, drei Trainingseinheiten pro Woche, 36 bis 40 Trainingseinheiten, 31 bis 45 Minuten pro Training und eine totale Dauer von 90 bis 120 Minuten Training pro Woche). Jedoch sind die Ergebnisse der zwei Meta-Analysen gemäss den Autoren mit Vorsicht zu interpretieren (Lesinski und Kollegen, 2015a; Lesinski und Kollegen, 2015b), da sie jeden Faktor einzeln analysierten. Das heisst, dass die Dauer auf dem Gerät mittels drei verschiedenen Trainingszeiten analysiert wurde (≤ 20 s, 21-40 s, 41-60 s) ohne andere Faktoren wie Anzahl Trainingseinheiten oder Trainingswochen zu berücksichtigen (Lesinski und Kollegen, 2015a). Auch bei der zweiten Meta-Analyse von Lesinski und Kollegen (2015b) kann eine einzelne Trainingsmodalität wie die Trainingsdauer die Resultate verfälschen.

Taube und Kollegen (2008) beschreiben das Gleichgewichtstraining als vielseitig einsetzbar. Sie erwähnen, dass Athleten, Kinder, ältere Menschen oder auch eingeschränkte Personen alle

Gleichgewichtstraining durchführen können und dass es für vieles positive Effekte hervorbringt. Dies, obwohl keine klaren Trainingsempfehlungen vorhanden sind, wie zum Beispiel beim Trainieren der Ausdauerfähigkeit. Was Gleichgewichtstraining mit sich bringt, wird in den folgenden zwei Unterkapiteln erläutert.

1.2.10 Langfristige Effekte von Gleichgewichtstraining. Wie nun bekannt ist, gibt es zahlreiche Studien, welche die Effekte von Gleichgewichtstraining untersucht haben. In dieser Arbeit werden einige ausgesuchte Studien mit hoher Relevanz präsentiert. Zuerst zu den funktionellen Anpassungen. Da kann allgemein gesagt werden, dass Gleichgewichtstraining die aufrechte Haltung verbessert und zwar für verschiedenste Altersgruppen und Könnernstufen (vgl. Heitekamp, Horstmann, Mayer, Weller & Dickhuth, 2001; Granacher, Gollhofer & Strass, 2006; Myer, Ford, Brent & Hewett, 2006).

Zusätzlich konnte nachgewiesen werden, dass die Explosivkraft (Rate of force development; RFD) durch Gleichgewichtstraining gesteigert wurde (Gruber & Gollhofer, 2004). Ein vierwöchiges Gleichgewichtstraining führte in dieser Studie zu einer signifikanten Steigerung der RFD.

Eine weitere Studie von Taube und Kollegen (2007) zeigte, dass durch Gleichgewichtstraining die Sprunghöhe von bereits gut trainierten Athleten signifikant gesteigert wurde. Sie konnten dies sowohl für *squat jumps*, für *drop jumps* wie auch für *countermovement jumps* bestätigen.

Beinert und Taube (2013) konnten zeigen, dass durch Gleichgewichtstraining die Schmerzintensität bei Nackenschmerzen gegenüber einer Kontrollgruppe signifikant gesenkt werden konnte.

Schon früh haben Freeman, Dean und Hanham (1965) als erste positive Effekte von Gleichgewichtstraining auf die Rehabilitation nachgewiesen. Sie verglichen herkömmliche Rehabilitationsprogramme mit Gleichgewichtstraining für Knöchel und Fussverletzungen. Anhand dieser Untersuchung stellten sie fest, dass Gleichgewichtstraining für die Rehabilitation solcher Verletzungen effektiver war, als eine herkömmliche Behandlung. Dass sich Gleichgewichtstraining positiv auf die Regeneration von verletzten Strukturen auswirkt, konnten weitere Untersuchungen bestätigen. Dies unterstrich zum Beispiel die Studie von Henriksson, Ledin und Good (2001). Sie kamen zum Schluss, dass Gleichgewichtstraining ein wichtiger Bestandteil für die Rehabilitation nach Kreuzbandverletzungen ist. McGuine und Keene (2006) zeigten, dass Gleichgewichtstraining zudem das Risiko für wiederkehrende Fussverstauchungen senken konnte (risk ratio ohne Gleichgewichtstraining = 2.14, mit Gleichge-

wichtstraining = 0.56). Nicht zuletzt wegen solchen Studienergebnissen ist das Gleichgewichtstraining in der Rehabilitation stark verbreitet.

Gleichgewichtstraining kann jedoch nicht nur nach Verletzungen hilfreich sein, sondern ist in vielen Sportarten und Altersgruppen ein Bestandteil von Präventionsprogrammen. Für verschiedenste Teamsportarten konnte mittels Gleichgewichtstraining das Verletzungsrisiko der unteren Extremitäten gesenkt werden. Im Basketball und Fussballsport haben dies McGuine und Keene (2006), im Volleyball Verhagen und Kollegen (2004) und im Handball Myklebust und Kollegen (2003; 2007) nachgewiesen.

Bei älteren Erwachsenen wird das Gleichgewichtstraining immer bedeutender für die Sturzprophylaxe. Sherrington und Kollegen (2008) bestätigten mit ihrer Meta-Analyse, dass Trainings das Sturzrisiko verringern. Vor allem Trainings, welche die Gleichgewichtsfähigkeit fördern, senkten in ihrer Studie das Sturzrisiko von älteren Menschen. Da das Alter Veränderungen des Körpers mit sich bringt, wie die Verschlechterung des sensorischen und motorischen Systems (Shaffer & Harrison, 2007), sollte dem entgegengewirkt werden. Laut Rogers, Johnson, Martinez, Mille und Hedman (2003) oder Granacher und Kollegen (2006) soll Gleichgewichtstraining helfen, diese altersbezogenen Veränderungen zu minimieren. Bei Rogers und Kollegen (2003) reichte ein dreiwöchiges Gleichgewichtstraining damit die älteren Menschen einen signifikanten Fortschritt erzielen.

1.2.11 Kurzfristige Effekte von Gleichgewichtstraining. Wie in Kapitel 1.2.8 Langfristige Effekte von Gleichgewichtstraining erläutert, wird bei Gleichgewichtstraining meistens auf langfristige Effekte verwiesen. Obwohl es möglich ist, mittels kurzen Gleichgewichtstrainingsphasen Fortschritte zu erzielen. Solche Fortschritte haben Wulf, McNevin und Shea (2001) beobachtet. In ihren Untersuchungen diente ein Gleichgewichtstask als komplexe motorische Lernaufgabe. Die Versuchspersonen mussten jeweils für 90 s eine Gleichgewichtsplattform ausbalancieren und versuchen diese mit möglichst wenig Bewegung in der Horizontalen zu halten. Sowohl am ersten Trainingstag (6 mal 90 s) wie auch am zweiten Trainingstag (6 mal 90 s) verbesserten sich die Versuchspersonen vom ersten bis zum sechsten Versuch signifikant ($p < .001$). Des Weiteren fanden sie heraus, dass ein externer Fokus gegenüber einem internen Fokus für das Erlernen einer Gleichgewichtslernaufgabe zu bevorzugen ist. Dies bedeutet, dass Instruktionen an die Versuchspersonen die Leistung bei Gleichgewichtslernaufgaben beeinflussen kann. Deswegen sollten den Versuchspersonen eher Anweisungen wie: «Halte die Gleichgewichtsplattform möglichst bewegungslos in der Horizontalen» (Ex-

terner Fokus) gegeben werden. Im Gegensatz könnte folgender Beispielsatz für einen internen Fokus eingesetzt werden: «Halte deine Füße möglichst bewegungslos in der Horizontalen». Ebenfalls kurzfristige Lerneffekte durch Gleichgewichtstraining haben die Untersuchungen von Rougier, Mathias und Tanzi (2011) ergeben. Vor und nach einem 20 minütigen Gleichgewichtstraining auf einer Wippe haben sie verschiedenste Parameter zur Gleichgewichtsfähigkeit erhoben. Unter anderem wurde das COP der Versuchspersonen auf der gleichen Wippe ermittelt. Sie zeigten, dass sich das COP sowohl in die medio-laterale wie auch in die anterior-posteriore Bewegungsrichtung signifikant verringerte ($p < .01$ resp. $p < .05$).

1.2.12 Spezifität und Transfer von Gleichgewichtstraining. Von Spezifität wird nicht nur im Bereich der Interferenz gesprochen, sondern seit kurzem auch beim Gleichgewichtstraining. Giboin, Gruber und Kramer (2015) sowie Kümmel, Krammer, Giboin und Gruber (2016) konnten zeigen, dass Gleichgewichtstraining ausschliesslich aufgabenspezifische Anpassungen mit sich bringt. Bei der Arbeit von Giboin und Kollegen (2015) haben die Probanden entweder auf einem Kippbrett oder auf einem Posturomed in der medio-lateralen Bewegungsrichtung trainiert (sechs Trainings über zwei Wochen). Sie fassen zusammen, dass sich die Leistung der Probanden nur beim trainierten Task verbesserte. Obwohl die Trainingsunterlage oder die Bewegungsrichtung gleich war, stellten sie keinen Transfer zu ähnlichen Gleichgewichtsübungen fest. Diese Resultate werden durch die Metaanalyse von Kümmel und Kollegen (2016) unterstrichen. Durch die Analyse der bestehenden Literatur konnten sie zeigen, dass keine oder nur geringe Transfers auf nicht trainierte Gleichgewichtstasks möglich sind. Ein weiteres konkretes Beispiel zu diesem Thema lieferte Keller, Pfusterschmied, Buchecker, Müller, Taube (2012). In ihrer Studie wendeten sie Slacklineaufgaben als Gleichgewichtstraining an. Nach den Trainings konnten die Probanden nur den Schwankweg in die medio-laterale Bewegungsrichtung signifikant verbessern. Was wiederum darauf schliessen lässt, dass der Transfer auf eine andere Bewegungsrichtung als die Trainierte schwierig ist.

Weil der Transfer von einer Gleichgewichtsübung auf eine andere praktisch nicht möglich ist, empfehlen Giboin und Kollegen (2015) und Kümmel und Kollegen (2016), dass nur die Aufgaben trainiert werden, welche verbessert werden sollen. Somit sollten in einem klassischen Gleichgewichtstraining oder in der Rehabilitation nur Gleichgewichtsaufgaben absolviert werden, welche für den Alltag Vorteile hervorbringen. Dies lässt vermuten, dass häufig viele verschiedene Gleichgewichtsaufgaben nacheinander trainiert werden, um einen möglichst grossen Nutzen für die Praxis zu erzielen. Jedoch sind Lernaufgaben, die nacheinander trainiert werden anfällig für Interferenz. Vor allem wenn sie gleiche Muskeln und Bewegungs-

richtungen beinhalten, wie in Kapitel 1.2.5 erläutert wurde. Nun stellt sich die Frage, inwiefern eine Gleichgewichtslernaufgabe die andere interferiert. Wir vermuten, dass bei unterschiedlichen Gleichgewichtslernaufgaben keine Interferenz auftritt. Wenn zwischen zwei Gleichgewichtslernaufgaben keine Muskel- oder Bewegungsspezifität vorhanden ist, sollten sie somit nicht anfällig für Interferenz sein. Bei Gleichgewichtslernaufgaben, welche eine ähnliche Muskel- oder Bewegungsspezifität mit sich bringen, stellt sich die Frage, ob sie genügend spezifisch sind, um keine Interferenz auszulösen. Sind die Gleichgewichtslernaufgaben mehr oder weniger identisch (gleiche Muskel- und Bewegungsspezifität), müssten sie sich beim Lernen normalerweise gegenseitig unterstützen. Darum vermuten wir, dass zwischen Gleichgewichtslernaufgaben, welche eine ähnliche Muskel- oder Bewegungsspezifität aufweisen, Interferenz auftreten kann. Wenn diese Vermutungen bestätigt werden können, müsste überlegt werden, ob klassische Gleichgewichtstrainings oder Rehabilitationsprogramme eine Umstrukturierung benötigen. Zumindest müsste überlegt werden, welche Gleichgewichtslernaufgabe nach welcher trainiert wird. Ansonsten besteht die Möglichkeit, dass sich zwei Gleichgewichtslernaufgaben gegenseitig interferieren.

1.2.13 Augmented Feedback. Lauber und Keller (2014) konnten zeigen, dass AF einen positiven Zusatznutzen für das Erlernen von motorischen Aufgaben mit sich bringt. Durch AF erhalten die Versuchspersonen ein zusätzliches Feedback, dass sie mit dem normalen sensorischen System nicht erhalten würden. Zusätzlich lässt sich laut Lauber und Keller (2014) durch AF die Motivation der Versuchspersonen steigern. Diese Motivation scheint vor allem wichtig zu sein, wenn die Trainingsphasen lange dauern. Zusätzlich vermuten Lauber und Keller (2014), dass die Versuchspersonen mit AF auf einer höheren Intensität trainieren, woraus verbesserte Trainingsanpassungen resultieren. Wegen diesen Gründen wird AF in der anstehenden Arbeit integriert werden.

1.3 Ziel und konkrete Fragestellungen der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, anhand eines erarbeiteten Studiendesigns zu überprüfen, ob verschiedene Gleichgewichtslernaufgaben, welche im Blocktraining erlernt werden, anfällig für Interferenz sind.

Die konkreten Fragestellungen der Arbeit lauten:

- a) Führen ähnliche (gleiche Bewegungsrichtung oder gleiche Bewegungsrichtung möglich), unverzüglich nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben zu Interferenz?

- b) Führen unterschiedliche (unterschiedliche Bewegungsrichtung), unverzüglich nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben zu keiner Interferenz?

Um die aufgestellten Fragestellungen wissenschaftlich zu überprüfen, wurden die nachfolgenden Hypothesen formuliert:

1. Hypothese zur Interferenzlernaufgaben mit freier Bewegungsrichtung (Kreisel):

H₁₀: Eine Interferenzlernaufgabe mit freier Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen.

H₁₁: Eine Interferenzlernaufgabe mit freier Bewegungsrichtung führt zu Interferenz und somit zu signifikanten Leistungseinbussen.

2. Hypothese zur Interferenzlernaufgaben mit gleicher Bewegungsrichtung (Kippbrett):

H₂₀: Eine Interferenzlernaufgabe mit gleicher Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen.

H₂₁: Eine Interferenzlernaufgabe mit gleicher Bewegungsrichtung führt zu Interferenz und somit zu signifikanten Leistungseinbussen.

3. Hypothese zur Interferenzlernaufgaben mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung (Stabilometer):

H₃₀: Eine Interferenzlernaufgabe mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung führt zu Interferenz und somit zu signifikanten Leistungseinbussen.

H₃₁: Eine Interferenzlernaufgabe mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen.

2 Methode

2.1 Probanden

Für die vorliegende Studie konnten insgesamt 61 Versuchspersonen rekrutiert werden. Als Einschlusskriterien für die Stichprobe galten das Alter und der gesundheitliche Zustand. Sie mussten zwischen 16 und 40 Jahren alt sein und durften während den Messungen keine Beeinträchtigungen durch allfällige Verletzungen haben. Durch die Rekrutierung von 61 Versuchspersonen war es möglich, randomisiert vier Gruppen à 15-16 Versuchspersonen zu erstellen (Tabelle 1). Die Versuchspersonen wurden in eine Kreisel- ($n = 15$), Kippbrett- ($n = 15$), Stabilometer- ($n = 16$) und Kontrollgruppe ($n = 15$) eingeteilt. Die erste Versuchsperson wurde in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt, weil das Untersuchungsdesign nach der Messung ein letztes Mal angepasst wurde. Dadurch schrumpfte die Kreiselgruppe für den weiteren Verlauf der Arbeit von anfänglich 16 auf 15 Versuchspersonen. Wie das Untersuchungsdesign aussah, ist im nächsten Unterkapitel ersichtlich.

Tabelle 1

Charakterisierung der Versuchspersonen ($n = 61$) und Untersuchungsgruppen

	Kreisel	Kippbrett	Stabilometer	Kontroll
n	15	15	16	15
Geschlecht [m/w]	12/3	9/6	10/6	7/8
Alter [Jahre]	26.1 ± 2.3	28.5 ± 5.3	25.8 ± 5.0	26.9 ± 5.2
Körpergewicht [kg]	74.3 ± 12.8	74.1 ± 10.1	68.1 ± 10.3	68.5 ± 10.8
Körpergrösse [cm]	176.3 ± 8.8	176.6 ± 7.5	173.3 ± 6.9	173.1 ± 10.6

Anmerkung. Für Geschlecht, Alter, Körpergewicht und -grösse sind die jeweiligen Mittelwerte \pm Standardabweichungen angegeben.

2.2 Untersuchungsdesign

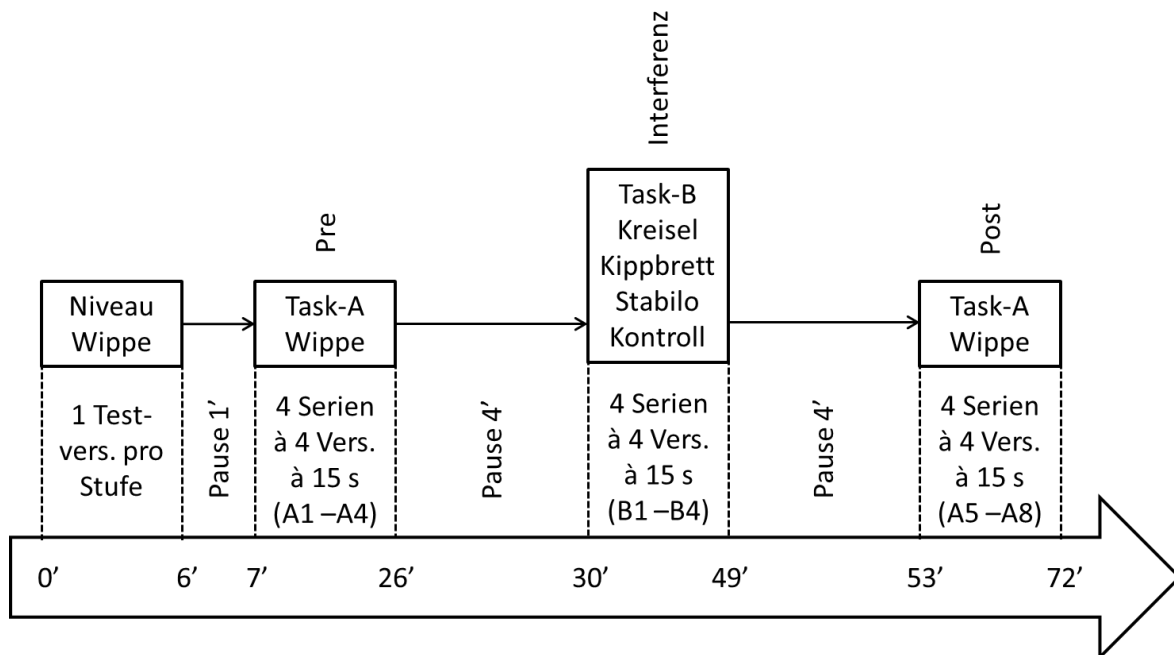


Abbildung 6. Vers. = Versuch. Wippe = Gleichgewichtsgerät mit unbeweglicher Achse. Stabilo = Stabilometer. Kippbrett = Gleichgewichtsgerät mit beweglicher Achse. Nach jedem Versuch hatten die Probanden 45 s Pause. Die Pausendauer zwischen zwei Serien betrug 105 s. Die Versuche werden später in der Arbeit mit Buchstaben (Task) und Zahlen (Serie) wie folgt aufgeführt. Wippe Pre-Task = A1–A4. Wippe Post-Task = A5–A8. Interferenztask = B1–B4.

Vor dem Experiment wurden die Versuchspersonen nach Körpergewicht, -größe und Alter befragt. Die Antworten übertrug der Tester ins Probandenblatt (siehe Anhang). Damit alle Probanden die gleichen Voraussetzungen hatten, mussten sie ihre Schuhe und Socken ausziehen. Wie das Testsetting konzipiert war, ist der Abbildung 6 zu entnehmen. Alle Versuchspersonen starteten mit den sechs Testversuchen auf der Wippe (pro Stufe ein Versuch). Gefolgt von der ersten Lernphase auf der Wippe (A1-A4). Vor Beginn der zweiten Lernphase auf der Wippe (A5-A8) absolvierten alle Versuchspersonen ein Interferenztask (B1-B4). Ausser die Versuchspersonen, welche sich in der Kontrollgruppe befanden. Die einzelnen Messinstrumente (Wippe, Kreisel, Kippbrett, Stabilometer) werden im Kapitel 2.3 präzise beschrieben. Die Gestaltung der Pausenlängen ist in Abbildung 6 oder auf dem Probandenprotokoll ersichtlich (siehe Anhang). Das Probandenprotokoll diente zudem als Kontrollinstrument für die Gültigkeit der Versuche. Die Durchführung des gesamten Testsettings inklusive Kalibrierung und Befragung der Versuchspersonen dauerte zirka 80 Minuten. Auf ein Aufwärmen wurde verzichtet, weil die Versuchspersonen vor dem Pre-Test schon auf der Wippe standen, um ihr Niveau ausfindig zu machen. Somit hatten sie die Möglichkeit sich sechsmal

15 s auf die Tests vorzubereiten (vgl. 2.2.1 Niveau Wippe). Die Raumtemperatur wurde nach Wohlbefinden der Versuchspersonen eingestellt. Die Untersuchungsverfahren zu den einzelnen Messungen werden in den folgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

2.2.1 Niveau Wippe. Damit alle Versuchspersonen optimale Lernfortschritte erzielen konnten, wurden für die Wippe (selbst hergestellt; Abb. 7) verschiedene Schwierigkeitsstufen entwickelt. Durch das Anbringen von verschiedenen Federn, welche mehr oder weniger Unterstützung boten, konnte dies realisiert werden. Die Federstärke variierte von 3.4 bis 1.25 mm Durchmesser. Insgesamt gab es sechs mögliche Schwierigkeitsstufen. Für jede Stufe mussten die Versuchspersonen 15 s auf der Wippe stehen. Zwischen den einzelnen Versuchen hatten sie 45 s Pause. Eine durchschnittliche Abweichung kleiner als 6° sowie eine Anschlagzeit kleiner als 2 s galten als Referenzwert für die Auswahl des Niveaus. Nach einer kurzen Pause von einer Minute startete die erste Lernphase des Task-A.

2.2.2 Wippe Pre- und Post (Task-A). Sobald das Niveau für die Versuchsperson bestimmt wurde, konnte mit dem Erlernen von Task-A gestartet werden. Vier Serien à vier Versuche wurden bei der Pre-Messung durchgeführt (A1-A4). Jeder Versuch dauerte 15 s. Zwischen den Versuchen hatten die Versuchspersonen 45 s Pause. Nach jedem Versuch bekamen sie ein Feedback, wo ihre durchschnittliche Abweichung in Grad ersichtlich war. Innerhalb zwei Serien konnten sie sich 105 s erholen. Nach der vierten Serie hatten die Versuchspersonen 4 min Pause bevor das Experiment mit dem Erlernen von Task-B seine Fortsetzung fand (siehe Kapitel 2.2.3 Interferenztasks). Nach Beendigung des Tasks-B (B1-B4) und einer 4-minütigen Pause mussten die Versuchspersonen erneut ihr Können auf der Wippe unter Beweis stellen. Bei der Post-Messung wurden erneut vier Serien à vier Versuche à 15 s absolviert (A5-A8). Die Bedingungen waren gleich wie beim Pre-Test.

2.2.3 Interferenztasks (Task-B). Wie bereits in Abbildung 6 ersichtlich, handelt es sich bei den Interferenztasks um eine Kreisel-, Kippbrett- oder Stabilometerlernaufgabe. Die Anzahl Versuche und die Pausendauer wurden gleich gestaltet wie bei Task-A. Die Versuchspersonen absolvierten insgesamt 16 Versuche à 15 s. Zwischen zwei Versuchen hatten sie 45 s Pause und zwischen zwei Serien 105 s. Nach jedem Versuch erhielten sie ein Feedback zur erbrachten Leistung.

2.2.4 Kontrollgruppe. Die Kontrollgruppe erlernte nur Task-A (Wippe Pre und Post). Zwischen den zwei Lernphasen der Wippe (Task-A) hatte diese Gruppe eine längere Pause. Genauer handelte es sich dabei um eine 27-minütige Pause. Dadurch entsprach die Pause exakt der Dauer, die nötig war bei den anderen drei Gruppen (Stabilometer, Kippbrett, Kreisel), um den Task-B 16 mal 15 s zu trainieren.

2.2.5 Instruktionen an die Versuchspersonen. Für alle Versuche und Geräte (Wippe, Kreisel, Kippbrett, Stabilometer) erhielten die Versuchspersonen die gleichen Anweisungen. Es wurde ihnen gesagt, dass sie versuchen müssen, das Gleichgewichtsgerät möglichst ruhig in der Horizontalen zu halten (externer Fokus). Zusätzlich wurden sie darauf hingewiesen, während dem Versuch das an der Wand angebrachte Kreuz anzuschauen. Zirka zehn s vor dem Beginn des Versuches wurden die Versuchspersonen aufgefordert, sich auf dem Gleichgewichtsgerät zu positionieren und sich für den Start bereit zu halten. Vor dem Startsignal erhielten die Versuchspersonen folgendes Startkommando: «Achtung und». Nach dem «und» folgte das Betätigen eines Triggers via Knopfdruck, was als Startsignal diente. Ab diesem Startsignal zeichnete das Softwareprogramm Imago (Imago Record, Pfitec, Endingen, Deutschland) die Leistung für 15 s auf. Nach diesen 15 s wurden die Versuchspersonen aufgefordert das Gerät zu verlassen und sie erhielten Informationen zur jeweiligen Pausendauer.

2.2.6 Feedback. Um die Motivation der Versuchspersonen während dem ganzen Experiment aufrecht zu erhalten, erhielten sie nach jedem Versuch und zu jedem Gerät ein Feedback. Abbildungen 7, 8, 9 und 10 veranschaulichen wie diese Feedbacks zu den jeweiligen Gleichgewichtsgeräten aussahen.

2.3 Untersuchungsinstrumente

2.3.1 Wippe Pre, Post und Niveau (Task-A). Die Wippe testete das Gleichgewicht in der Sagittalachse (Abb. 7, links). Die Versuchspersonen mussten während des Versuches das an der Wand angebrachte Kreuz anschauen. Ihr Ziel war es, möglichst in der Nullstellung (horizontale Ausrichtung der Gleichgewichtsunterlage) zu verharren ohne mit den Füßen die Gleichgewichtsunterlage zu verlassen. Für die Platzierung der Füße gab es keine Markierung. Beide Füße mussten sich jedoch vollumfänglich auf der Gleichgewichtsunterlage befinden. Was sie mit den Armen anstellten, wurde ihnen überlassen. Der Versuch zählte, wenn die Versuchspersonen während den 15 Sekunden mit beiden Füßen auf der Wippe bleiben konn-

ten und sie sich nirgendwo abstützen mussten. Durch einen angebrachten Goniometer, Imago und MatLab (R2015a, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) konnte bewerkstelligt werden, die durchschnittliche Abweichung in Grad nach unten und oben aufzuzeichnen. Der Goniometer leitete je nach Winkel ein unterschiedliches Voltsignal an die Computerprogramme weiter, welche anschliessend für die Aufzeichnung und Umrechnung dieser Daten zuständig waren. Durch die Umrechnung und grafische Darstellung war es möglich, den Versuchspersonen auf einem Bildschirm ein Feedback zu geben (Abb. 7, rechts).

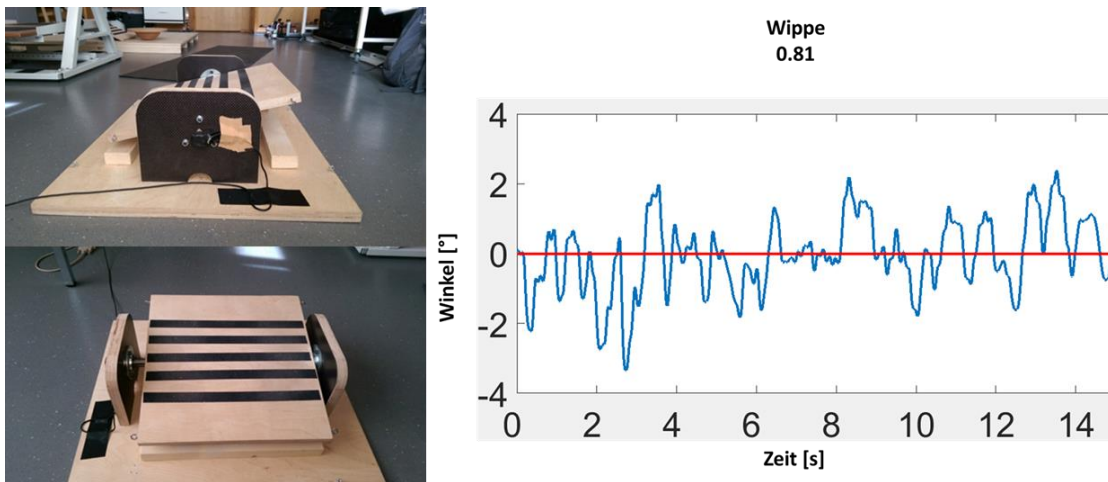


Abbildung 7. Links: Wippe mit unbeweglicher Achse und angebrachtem Goniometer zu. Rechts: Veranschaulichung des Feedbacks auf der Wippe. 0.81 = Durchschnittliche Abweichung in Grad über die 15 s. Die blaue Linie gibt die Bewegung in der Sagittalachse an.

2.3.2 Interferenztasks (Task-B). Als nächstes werden die einzelnen Interferenztasks präziser beschrieben. Es handelt sich dabei um den Kreisel, das Kippbrett und den Stabilometer. Bei allen Interferenztasks war das Ziel der Probanden, die Gleichgewichtsunterlage möglichst ruhig in der Horizontalen zu halten.

Kreisel. Der Kreisel (selbst hergestellt) war ein Gerät, welches das Gleichgewicht sowohl in die Sagittal- und in die Querachse testen konnte (Abb. 8, links). Durch die Platzierung des Kreisels auf einer Kraftmessplatte (508*464 mm; OR6–7 force platform; Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, MA, USA) war es möglich, den Schwankweg des Druckmittelpunktes (Druckmittelpunkt = Resultierende aller Bodenreaktionskräfte) zu bemessen. Die Kraftmessplatte berechnete über die 15 s die einwirkenden Kräfte, welche durch Imago aufgezeichnet wurden. Mit Hilfe von MatLab konnten diese Aufzeichnungen verarbeitet und abschliessend der Schwankweg des Druckmittelpunktes in Zentimeter ausgerechnet werden.

Die Versuchspersonen mussten mit beiden Beinen auf dem Gerät bleiben, damit der Versuch zählte. Dabei mussten die Füße vollumfänglich auf der Gleichgewichtsunterlage platziert sein. Die Arme durften nach Belieben eingesetzt werden. Jedoch durften sich die Versuchspersonen während den 15 s nirgends abstützen. Zur Orientierung war ein Kreuz an der Wand angebracht, welches die Versuchspersonen während den 15 s anschauen mussten. Wiederum erhielten sie nach jedem Versuch ein Feedback mit dem gesamten Schwankweg des Druckmittelpunktes (cm) über die 15 s (Abb. 8, rechts).

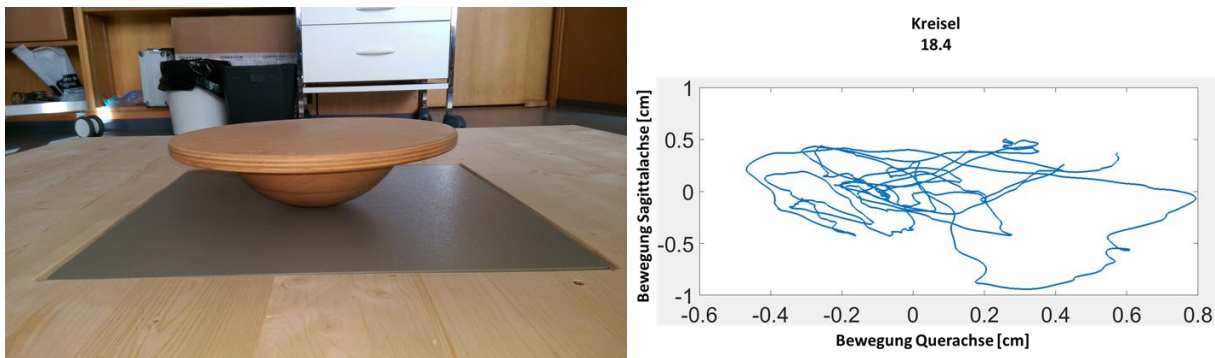


Abbildung 8. Links: Kreisel auf der Kraftmessplatte platziert. Rechts: Feedback zum Kreisel. 18.4 = Schwankweg in der Sagittal- und Querachse über die gesamten 15 s in Zentimeter. Die blaue Linie veranschaulicht die Bewegung des Druckmittelpunktes.

Kippbrett. Das Kippbrett (selbst hergestellt) war der Wippe ähnlich, jedoch hatte dieses Gleichgewichtsgerät eine bewegliche Achse, welche sich mit den Füßen der Versuchspersonen mitbewegte (Abb. 9, links). Bewegungen waren wie bei der Wippe nur in der Sagittalachse möglich. Um den Versuchspersonen bei diesem Gerät Feedback zu geben, wurde das Kippbrett auf die Kraftmessplatte platziert (wie beim Kreisel). Mit Hilfe von Imago und Mat-Lab konnte der Schwankweg des Druckmittelpunktes (cm) in der Sagittalachse berechnet werden. Damit der Versuch zählte, durften die Versuchspersonen während den 15 s das Kippbrett nicht verlassen und sich mit den Händen nicht abstützen. Für den Einsatz der Arme gab es keine Vorgaben. Für die Platzierung der Füße gab es keine Markierungen, sie mussten aber ganz auf der Gleichgewichtsunterlage sein. Wiederum war an der Wand ein Kreuz aufgeklebt, das den Versuchspersonen als Hilfe diente. Nach jedem Versuch erhielten die Versuchspersonen während der 45 s Pause ein Feedback zu ihrer Leistung (Abb. 9, rechts).

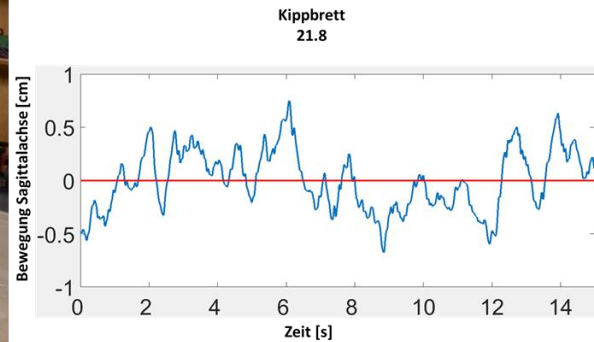


Abbildung 9. Links: Auf der Kraftmessplatte platziertes Kippbrett mit beweglicher Achse. Rechts: Feedback zum Kippbrett. 21.8 = Schwankweg in der Sagittalachse über die gesamten 15 s in Zentimeter. Die Blaue Linie widerspiegelt die Bewegung in der Sagittalachse.

Stabilometer. Beim Stabilometer (Lafayette Instrument, US) handelte es sich um ein Gleichgewichtsgerät, mit welchem die seitliche Abweichung in Grad berechnet werden konnten (Abb. 10, links). Da nur seitliche Bewegungen möglich waren, wurden mit dem Stabilometer die Gleichgewichtsfähigkeiten in der Querachse ermittelt. Es existierte nur eine Schwierigkeitsstufe. Blieben die Versuchspersonen mit beiden Füßen auf der Unterlage, konnte der Versuch gezählt werden. Beide Füße mussten vollumfänglich auf der Gleichgewichtsunterlage platziert werden. Was sie mit den Armen anstellten, wurde ihnen überlassen. Ein Abstützen mit den Händen wurde während des Versuches nicht toleriert. Die Versuchspersonen orientierten sich anhand eines Kreuzes an der Wand. Nach jedem Versuch erhielten die Versuchspersonen ein Feedback mit der durchschnittlichen Abweichung in Grad (Abb. 10, rechts). Um die Rückmeldung für die Versuchspersonen zu gewährleisten, wurden die Daten erneut mit Hilfe von Imago aufgezeichnet und mit MatLab veranschaulicht.

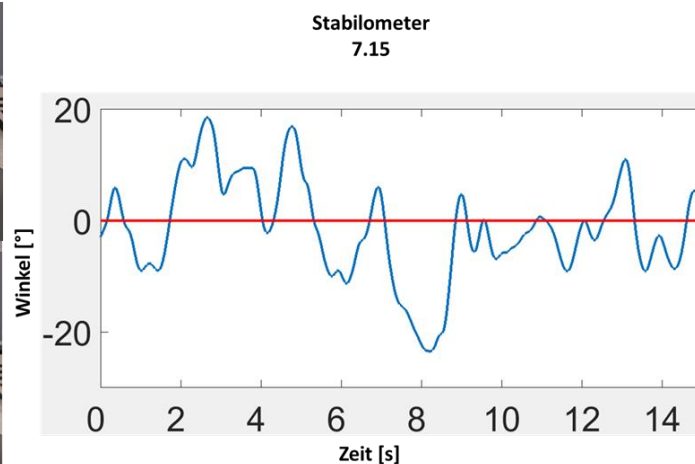
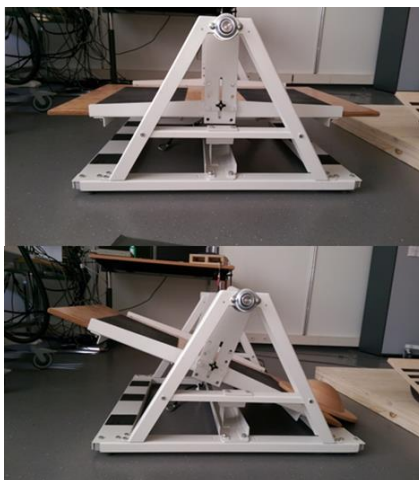


Abbildung 10. Links oben = neutrale Stellung des Stabilometers. Links unten = Einseitige Anschlagsstellung. Rechts: Feedback zum Stabilometer. 7.15 = Durchschnittliche Abweichung in Grad über die 15 s. Die blaue Linie gibt die Schwankungen in der Querachse an.

2.4 Auswertung und statistische Analyse

2.4.1 Datenauswertung. Für die Datenerhebung wurden die Softwareprogramme (Imago Record, Pfitec, Endingen, Deutschland), MatLab (R2015a, The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) und das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel für PC 2010, Microsoft Corporation, Redmond, USA) verwendet. Für die anschliessende Datenverarbeitung wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel benutzt. In die Datenauswertung flossen jeweils nur die zwei mittleren Versuche jeder Serie. Der beste und schlechteste Versuch wurde nicht berücksichtigt, weil dadurch Messverzerrungen durch allfällige Ausreisser reduziert werden konnten. Waren nur drei gültige Versuche pro Serie vorhanden, wurde nur der mittlere Wert für die Auswertung berücksichtigt. Vereinzelt hatten Versuchspersonen für eine Serie nur zwei gültige Versuche. Für dieses Szenario floss der Durchschnitt dieser zwei Werte in die Auswertung. Konnten sich die Versuchspersonen in der ersten Lernphase (A1-A4) nicht verbessern, wurden sie in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Die Probanden wurden gestrichen, weil ohne Fortschritte während den Lernphasen nicht von einer Lernaufgabe gesprochen werden kann. Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) wiesen aber nach, dass Lernaufgaben notwendig sind, um Interferenz auszulösen. Deswegen verringerte sich Stichprobengrösse für die statistische Analyse von anfänglich 61 auf 53 Probanden. Für die grafische Darstellung diente das Tabellenkalkulationsprogramm Excel sowie die Präsentationssoftware PowerPoint (Microsoft PowerPoint für PC 2010, Microsoft Corporation, Redmond, USA).

2.4.2 Statistik. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der deskriptiven Statistik wurden im Tabellenkalkulationsprogramm Excel berechnet.

Mit Hilfe einer zweifaktoriellen (Messzeitpunkt, Gerät) Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated measures ANOVA) wurde überprüft, ob signifikante Effekte für die verschiedenen Faktoren (Serie, Gerät, Serie*Gerät) vorhanden sind. Für den Faktor Gerät wurde anschliessend ein Post-Hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus für Mehrfachvergleiche durchgeführt. Für alle p -Werte der statistischen Tests galten folgende Signifikanzniveaus: $p < 0.01$ = höchst signifikant, $p < 0.05$ = signifikant und $p > 0.05$ = nicht signifikant. Folgende Referenzwerte des partiellen Eta Quadrat (η^2_p): Kleiner Effekt $\eta^2_p > 0.02$, mittlerer Effekt $\eta^2_p > 0.13$ und grosser Effekt $\eta^2_p > 0.26$ dienten als Indikator der Effektstärke der ANOVA. Für die analytische Statistik wurde das Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics 19, IBM Corporation, Armonk, USA) verwendet.

3 Resultate

Die Resultate aller vier Probandengruppen sind in Abbildung 11 ersichtlich. Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung der Serien A1 und A4 zeigt einen signifikanten Effekt für den Faktor Serie ($F_{1,49} = 77.286$; $p < .001$; $\eta^2_p = .612$). Für den Faktor Gerät ($F_{3,49} = 0.356$; $p = .785$; $\eta^2_p = .021$) und für die Interaktion der Faktoren Serie*Gerät ($F_{3,49} = 0.810$; $p = .494$; $\eta^2_p = .047$) wurden hingegen keine signifikanten Unterschiede berechnet. Im Durchschnitt verbesserten die Versuchspersonen ihre Leistung während der ersten Lernphase (A1–A4) auf der Wippe um 19.0 %.

Zwischen der letzten Serie der ersten Lernphase (A4) und der ersten Serie der zweiten Lernphase (A5) konnten mittels der zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung keine signifikanten Effekte berechnet werden. Dies war für den Faktor Serie ($F_{1,49} = 0.176$; $p = .677$; $\eta^2_p = .004$), für den Faktor Gerät ($F_{3,49} = 0.699$; $p = .557$; $\eta^2_p = .041$) und die Interaktion der Faktoren Serie*Gerät ($F_{3,49} = 0.061$; $p = .980$; $\eta^2_p = .004$) der Fall.

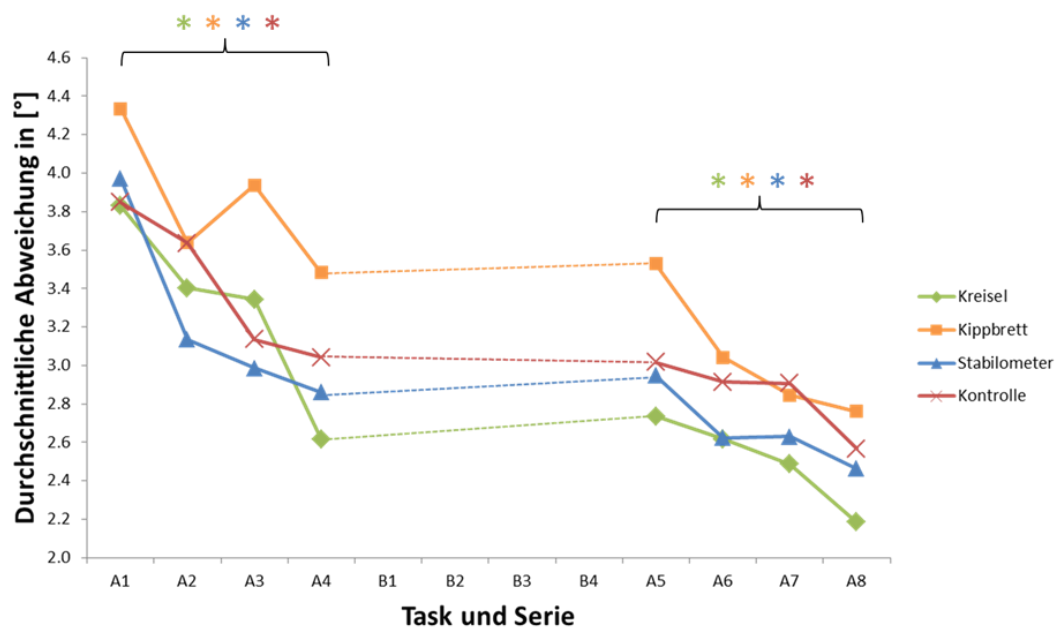


Abbildung 11. Mittelwerte aller Gruppen und Serien von Task-A (Wippe). Zum Beispiel: A3 = Dritte Trainingsserie der ersten Lernphase auf der Wippe. * = höchst signifikanter Unterschied ($p < 0.01$). Kreisel ($n = 15$). Kippbrett ($n = 10$). Stabilometer ($n = 14$). Kontrolle ($n = 14$).

Für die Serien A5 und A8 ergab die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung für den Faktor Serie ($F_{1,49} = 28.749$; $p < .001$; $\eta^2_p = .370$) signifikante Resultate. Für den Faktor Gerät ($F_{3,49} = 0.621$; $p = .605$; $\eta^2_p = .037$) und die Interaktion von Serie*Gerät ($F_{3,49} = 0.394$; $p =$

.758; $\eta^2_p = .024$) konnten keine signifikanten Unterschiede berechnet werden. In der zweiten Lernphase verbesserten sich die Versuchspersonen im Durchschnitt um 17.6 %.

Die Analyse mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung der Serien A1, A4 und A5 zeigt einen signifikanten Effekt für den Faktor Serie ($F_{2,98} = 31.376$; $p < .001$; $\eta^2_p = .390$). Für den Faktor Gerät ($F_{3,49} = 0.484$; $p = .695$; $\eta^2_p = .029$) sowie die Interaktion Serie*Gerät ($F_{6,98} = 0.278$; $p = .946$; $\eta^2_p = .017$) blieben signifikante Unterschiede aus.

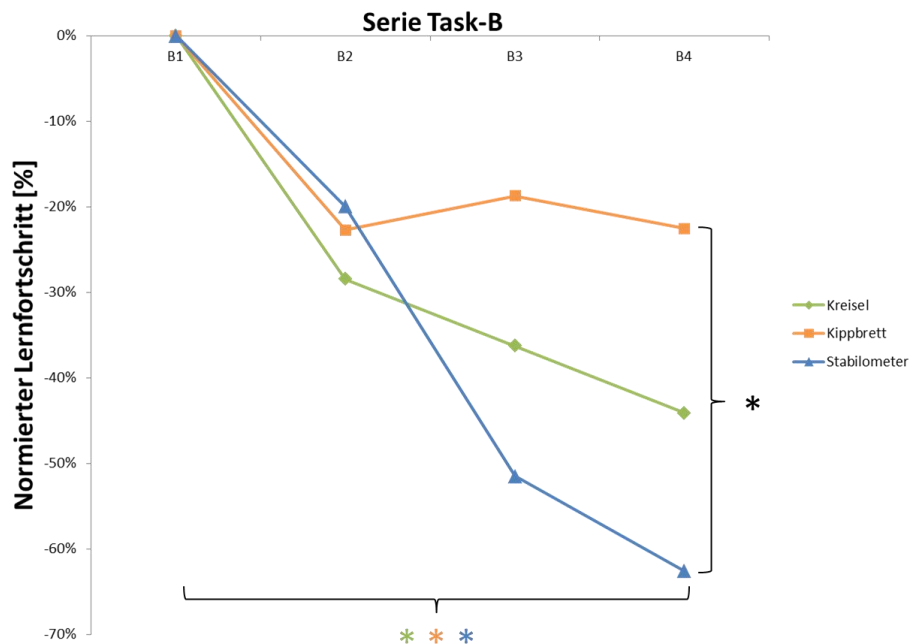


Abbildung 12. Normierte Mittelwerte der Interferenz Lernaufgaben. * = höchst signifikanter Unterschied ($p < 0.01$). Kreisel ($n = 15$). Kippbrett ($n = 10$). Stabilometer ($n = 14$).

Der Vergleich der normierten B-Tasks (B1 – B4) zeigt mittels zweifaktorieller ANOVA mit Messwiederholung für die Faktoren Serie ($F_{1,36} = 73.341$; $p < .001$; $\eta^2_p = .671$), Gerät ($F_{2,36} = 5.363$; $p = .009$; $\eta^2_p = .230$) sowie die Interaktion Serie*Gerät ($F_{2,36} = 5.363$; $p = .009$; $\eta^2_p = .230$) signifikante Effekte (Abb. 12). Bonferroni korrigierte Post-Hoc Tests für den Faktor Gerät bei B1–B4 machen deutlich, dass sich nicht alle Geräte signifikant unterscheiden. Nur die Geräte Kippbrett und Stabilometer unterscheiden sich signifikant ($p = .007$). Die Vergleiche zwischen Kreisel und Kippbrett sowie Kreisel und Stabilometer blieben über dem Signifikanzniveau ($p = .132$, resp. $p = .557$). Die Versuchspersonen der Kreisel-Gruppe verbesserten ihren Schwankweg im Durchschnitt um 44.2 %. Die Kippbrettgruppe verbesserte ihren Schwankweg im Durchschnitt um 22.6 %. Auf dem Stabilometer verbesserte sich die durchschnittliche Abweichung in Grad im Schnitt um 62.6 % (Abb. 12).

4 Diskussion

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit dem Interferenzparadigma bei motorischen Lernaufgaben und versuchte dies auf zeitnah, nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben zu erweitern. Es ist meines Wissens die erste Arbeit, welche untersucht hat, ob zwischen dem Lernen von verschiedenen Gleichgewichtslernaufgaben Interferenz auftritt. Dadurch vermag die Studie, mittels den gewonnenen Erkenntnissen, als Unterstützung für die Gestaltung von Gleichgewichtstrainings und Rehabilitationsprogramme zu dienen.

4.1 Keine Interferenz bei Gleichgewichtslernaufgaben

Die Resultate zeigen deutlich, dass sowohl ähnliche (gleiche Bewegungsrichtung oder gleiche Bewegungsrichtung möglich), zeitnah nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben, wie auch unterschiedliche (unterschiedliche Bewegungsrichtung), zeitnah nacheinander trainierte Gleichgewichtslernaufgaben zu keiner Interferenz führen. Dies untermauern die nicht signifikanten Unterschiede für die Faktoren Serie ($p = .677$) und Gerät ($p = .557$) zwischen dem Ende der ersten Lernphase (A4) und dem Beginn der zweiten Lernphase (A5). Trotz des schlechten Signifikanzwertes ergab die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung eine kleine Effektstärke ($\eta^2_p = .041$) für den Faktor Gerät. Durch die erwähnten Resultate können die in Kapitel 1.3 (Ziel und konkrete Fragestellungen der Arbeit) aufgestellten Hypothesen folgendermassen verifiziert oder falsifiziert werden: Die erste Nullhypothese, (H_{10} : Eine Interferenzlernaufgabe mit freier Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen) kann nicht verworfen werden. Dasselbe gilt für die zweite Nullhypothese (H_{20} : Eine Interferenzlernaufgabe mit gleicher Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen). Die dritte Nullhypothese (H_{30} : Eine Interferenzlernaufgabe mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung führt zu Interferenz und somit zu signifikanten Leistungseinbussen) kann hingegen verworfen werden und die alternativ Hypothese (H_{31} : Eine Interferenzlernaufgabe mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung führt zu keiner Interferenz und somit zu nicht signifikanten Leistungseinbussen) wird durch die erhaltenen Ergebnisse bestätigt.

Die Resultate legen dar, dass sich Gleichgewichtslernaufgaben in Bezug auf Interferenz nicht gleich wie andere motorische Lernaufgaben verhalten. Jedenfalls können die Resultate von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011), welche bei bewegungs- und muskelspezifischen Lernaufgaben Interferenz nachwiesen, nicht auf Gleichgewichtslernaufgaben erweitert werden. Wobei in der vorliegenden Arbeit das Augenmerk vor allem auf die Bewegungsspezifität der

Gleichgewichtslernaufgaben gelegt wurde. Die Muskelspezifität wurde auf Grund der möglichen Bewegungsrichtung des Gerätes nur vermutet. Für einen genauen Nachweis der Muskelinvolvierung auf den einzelnen Geräten müsste die Muskelaktivität, während den Versuchen, mittels der Elektromyografie aufgezeichnet werden. Fraglich ist allerdings, warum sich Gleichgewichtslernaufgaben von anderen motorischen Lernaufgaben im Bereich der Interferenz unterscheiden. Ein Erklärungsansatz könnte die Konsolidierung von motorischen Lernaufgaben liefern. Laut Muellbacher und Kollegen (2002) und Cothros und Kollegen (2006) scheint der M1 in der frühen Phase von motorischen Konsolidierungen eine entscheidende Rolle einzunehmen. Beide Autoren konnten mittels rTMS des M1 Interferenz hervorrufen. Das Review von Taube und Kollegen (2008) verdeutlicht jedoch, dass bei Gleichgewichtslernaufgaben nicht nur der M1 involviert ist, sondern zusätzlich viele andere Strukturen des ZNS. Dazu gehören das Rückenmark, wo die spinalen Reflexe gesteuert werden und die subkortikalen Regionen, (Hirnstamm, Basalganglien, Kleinhirn) welche laut Taube und Kollegen (2008) beim Gleichgewicht eine wesentliche Rolle innehaben. Zudem sprechen sie von «hoch Task spezifischen» Anpassungen dieser Regionen. Von aufgabenspezifischen Anpassungen bei Gleichgewichtstraining berichteten auch Giboin und Kollgen (2015) sowie Kümmel und Kollegen (2016), als sie keine oder nur geringe Transfers von einer auf die andere Gleichgewichtslernaufgabe nachweisen konnten. Dies würde bedeuten, dass Gleichgewichtslernaufgaben sehr aufgabenspezifisch und darum nicht anfällig für Interferenz sind. Eventuell wäre es möglich, Interferenz hervorzurufen, wenn die subkortikalen Regionen bei der Konsolidierung von Gleichgewichtslernaufgaben durch Stimulationen gestört werden, da Gleichgewichtstraining vor allem diese Bereiche des ZNS anspricht (Taube und Kollegen, 2008). Jedoch konnte beim motorischen Lernen bis jetzt nur Interferenz hervorgerufen werden, wenn der M1 mit rTMS gestört wurde. Bei der Stimulation anderer Hirnregionen, wie dem präfrontalen Kortex oder Occipitallappen, konnte jedoch keine Interferenz ausgelöst werden (Muellbacher und Kollegen, 2002). Noch unbeantwortet ist, ob durch die Störung der subkortikalen Regionen beim motorischen Lernen Interferenz hervorgerufen werden kann.

Ein weiterer Erklärungsansatz könnte die Komplexität von Gleichgewichtslernaufgaben sein. Das bedeutet, dass bei Gleichgewichtslernaufgaben meistens mehrere Muskeln oder Muskelgruppen aktiv und grosse Bewegungsumfänge möglich sind. Somit wird ein grosser Teil oder sogar der ganze Körper nötig, um das Gleichgewicht auf einer instabilen Unterlage zu halten. Bei den bisherigen Untersuchungen zu motorischem Lernen und Interferenz handelte es sich hingegen um kleinere Bewegungsabläufe und einzelne Muskeln, welche aktiviert wurden. Wie bei der Studie von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011), wo das Fussgelenk an einem

Pedal fixiert wurde. Mittels dieser Fixierung wurde bei ihren Untersuchungen grösstenteils der Schienbeinmuskel (m. tibialis anterior) und die Wadenmuskulatur (m. gastrocnemius, m. soleus) angesprochen. Auch bei den Untersuchungen von Muellbacher und Kollegen (2002), bei denen die Versuchspersonen Fingerbewegungen ausführen mussten, waren einzelne Muskeln und kleine Bewegungsumfänge erforderlich. Eine weitere wichtige Studie in diesem Untersuchungsfeld liess ihre Versuchspersonen einen Roboterarm bewegen. Dadurch waren grösstenteils die Muskeln des bewegungsausführenden Armes involviert (Brashers-Krug und Kollegen, 1996). Dies lässt vermuten, dass es vielleicht möglich sein könnte, bei Gleichgewichtslernaufgaben Interferenz auszulösen, wenn die beanspruchten Muskeln oder die Bewegungsumfänge reduziert werden. Denn es geht aus bestehender Literatur hervor, dass die Komplexität einer Lernaufgabe den Effekt der Interferenz beeinflussen kann (Wulf & Shea, 2002; Farrow & Buszard, 2017). Wulf und Shea (2002) berichten, dass die Interferenzresultate von einfachen motorischen Aufgaben nicht auf komplexe motorische Lernaufgaben übertragbar sind. Das Review von Farrow und Buszard (2017) nennt als Beispiel für eine einfache motorische Lernaufgabe den Fingertipptask und als komplexe motorische Lernaufgabe die Grundschnitte im Tennis. Sie erläutern, dass die Interferenzeffekte für einfache motorische Lernaufgaben viel grösser ausfallen. Bei komplexeren Lernaufgaben wird es laut Farrow und Buszard (2017) jedoch schwieriger, klare Interferenzeffekte zu realisieren. Sie präzisieren, dass sich die Komplexität der Lernaufgabe aus den Freiheitsgraden der zu lernenden Bewegung und den Anforderungen der Umwelt ergibt. Durch diese Erläuterung sollten die Gleichgewichtslernaufgaben, welche die Versuchspersonen in der vorliegenden Arbeit trainierten, als komplexe Lernaufgaben eingestuft werden. Ist es nicht möglich die Gleichgewichtslernaufgaben in ihrer Komplexität einzuschränken, wäre es denkbar, dass durch andere Interferenzaufgaben, wie zum Beispiel eine Genauigkeits- oder eine ballistische Kraftaufgabe, bei Gleichgewichtslernaufgaben Störungen verursacht werden können. Um das zu testen, müssten sich weiterführende Forschungsarbeiten auf eine Gleichgewichtsunterlage festlegen und den Interferenztask auf dieser Unterlage trainieren lassen. Am günstigsten geeignet scheint dafür die Wippe, weil auf der Wippe vermutlich am ehesten eine Genauigkeits- oder Kraftaufgabe entwickelt werden kann. Zusätzlich existieren für die Wippe viele verschiedene Schwierigkeitsstufen, welche es ermöglichen, kleinere Bewegungsumfänge zu realisieren. Zudem sollte es auf der Wippe möglich sein, primär die Muskeln der Unterschenkel zu involvieren.

Der «spacing Effekt» könnte ein dritter Erklärungsansatz sein, welcher das nicht Auftreten von Interferenz zwischen Gleichgewichtslernaufgaben plausibel macht. Damit der spacing Effekt auftreten kann, braucht es zwischen den Wiederholungen der Lernaufgaben zeitliche

Abstände. Das war im vorliegenden Studiendesign der Fall. Lee und Weeks (1987) schlagen in ihrer Studie vor, dass Lernen mit erhöhter Erstausbildung besser konsolidiert wird. Was logisch scheint. Eine seltsame Feststellung von ihnen war, dass die Wiedergabe der Lernaufgabe noch besser wurde, wenn die Wiederholungen der Lernaufgabe nicht direkt nacheinander folgten, sondern zeitliche Abstände aufwiesen. Noch bessere Wiedergaben des Gelernten waren feststellbar, wenn in diesen Zeitabständen Interferenz auftrat. Somit scheint das Vergessen, das zwischen Wiederholungen auftritt, dazu zu dienen, das Gelernte bei Retentionstests besser wiedergeben zu können. Schmidt und Lee (2011) schreiben dazu: «When Forgetting Improves Remembering» (S. 379). Was somit bedeutet, dass Vergessen das Wiedererinnern steigert. Eine neuere Studie von Kim, Oh und Schweighofer (2015) hat das Vergessen zwischen motorischen Lernaufgaben noch einmal aufgegriffen. In ihrer Untersuchung bildeten Sie drei Gruppen. Eine Gruppe hatte kurze Pausen (5.2 s) und eine Gruppe hatte lange Pausen (18.4 s) zwischen zwei Bewegungsausführungen. Die dritte Gruppe führte zwischen zwei Bewegungsausführungen zusätzlich eine Interferenzaufgabe aus. Mit diesem Untersuchungsdesign konnten sie zeigen, dass die Gruppe mit den kurzen Pausen die effektivste Lernrate aufwies, beim Retentionstest aber am Schlechtesten abschloss. Dem Gegenüber konnte sich die Gruppe, welche während den Pausen eine Interferenzlernaufgabe ausführte, am geringsten verbessern. Sie zeigte beim Retentionstest jedoch die besten Resultate. Die Gruppe mit den langen Pausen war bei der Lernrate und beim Retentionstest jeweils in der Mitte der drei Gruppen anzutreffen. Die Ergebnisse von Kim und Kollegen (2015) deuten somit darauf hin, dass längere Pausen zwischen zwei Lernversuchen die Interferenz verringern können. Da in der vorliegenden Studie zwischen zwei Versuchen jeweils 45 s Pause eingestreut wurde, kam dies zwar der Erholung der Versuchspersonen zu Gute, könnte aber auch dafür zuständig gewesen sein, dass keine Interferenz auftrat.

Als Stärke des erarbeiteten Studiendesign kann das durchgeführte Blocktraining in Betracht gezogen werden. Es wurde ein solches Lernprotokoll aufgestellt, weil Robertson und Kollegen (2004) zeigen konnten, dass Blocktrainings anfälliger auf Interferenz seien als randomisierte Trainingsblöcke. Das visuelle Feedback, welches die Versuchspersonen nach jedem Versuch erhielten, soll laut Lauber und Keller (2014) einen positiven Zusatznutzen für das Erlernen von motorischen Lernaufgaben mit sich bringen und die Motivation der Versuchspersonen erhalten. Jedoch konnten Cothros und Kollegen (2009) nachweisen, dass visuelle Feedbacks vor Interferenz schützen können. Deswegen sollte in zukünftigen Forschungsarbeiten in diesem Bereich überlegt werden, auf was sich die Untersuchung konzentrieren soll. Ein weiterer Vorschlag wäre, dass der Retentionstest nicht nur anschliessend an die Interferenz-

lernaufgabe ausgeführt wird, sondern dass eine zusätzliche Gruppe diesen Retentionstest zirka 24 Stunden nach der ersten Lernphase absolviert. Dies würde zeigen, ob bei Gleichgewichtslernaufgaben am Folgetag Interferenz auftreten kann. Sofern am Folgetag Interferenz auftritt, würde Task-A durch die längere Konsolidierungsphase gestört.

Weil die in der Einleitung aufgestellte Vermutung, dass zwischen zwei bewegungsspezifischen Gleichgewichtslernaufgaben Interferenz auftritt, durch die vorliegende Arbeit nicht gestützt werden kann, brauchen klassische Gleichgewichtstrainings oder Rehabilitationsprogramme nicht zwingend eine Umstrukturierung. Weitere Studien zwischen muskelspezifischen Gleichgewichtslernaufgaben oder zwischen Gleichgewichtslernaufgaben und Genauigkeits- oder ballistischen Kraftaufgaben sind nötig, um Gleichgewichtslernaufgaben als Interferenz immun zu bezeichnen. Um sicher zu sein, dass eine Muskelspezifität zwischen zwei Gleichgewichtslernaufgaben vorhanden ist, müsste das Untersuchungsdesign zusätzlich eine Muskelaktivitätsmessung beinhalten. Sofern in einem solchen Testsetting auch keine Interferenz auftritt, könnte angenommen werden, dass sich Gleichgewichtslernaufgaben untereinander nicht gegenseitig interferieren können. Jedoch wäre noch offen, ob andere Lernaufgaben, wie Genauigkeits- oder Kraftaufgaben bei der Konsolidierung von Gleichgewichtslernaufgaben Störungen verursachen können. Solche Interferenzlernaufgaben müssten, auf demselben Gleichgewichtsgerät ausgeführt werden, wie die Gleichgewichtslernaufgabe selbst. So könnte die Muskel- und Bewegungsspezifität gleich mehr oder weniger sichergestellt werden. Dadurch würde ein Untersuchungsdesign entstehen, welches folgendermassen aussehen würde: Bei Task A1-A4 und Task A5-A8 würden die Versuchspersonen ihre Gleichgewichtsfähigkeit wie in der vorliegenden Arbeit trainieren. Dazwischen würde der Interferenztask B1-B4 trainiert, bei dem es sich um ein Genauigkeits- oder eine ballistische Kraftaufgabe handeln würde. Als Genauigkeitsaufgabe könnte eine Trackingaufgabe dienen. Bei dieser müssten die Probanden versuchen, mit dem Gleichgewichtsgerät eine Linie nachzufahren, ähnlich wie es in der Studie von Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) gehandhabt wurde. Bei der ballistischen Kraftaufgabe müsste eine Art Explosivkrafttraining entwickelt werden, was auf einem Gleichgewichtsgerät schwierig zu sein scheint.

4.2 Fortschritte Gleichgewichtslernaufgaben

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Versuchspersonen auf allen Gleichgewichtsunterlagen von der ersten bis zur letzten Trainingsserie pro Lernphase (A1-A4; A5-A8; B1-B4) signifikante Fortschritte erzielten. Sowohl bei der ersten (A1-A4) wie auch bei der zweiten Lernphase auf der Wippe (A5-A8) verbesserten sich die Versuchspersonen höchst signifikant ($p < 0.01$). Für das partielle Eta Quadrat konnten bei beiden Lernphasen grosse Effektstärken realisiert werden. Wobei die Effektstärke bei der ersten Lernphase der Wippe ($\eta^2_p = .677$) noch grösser war als bei der zweiten Lernphase der Wippe ($\eta^2_p = .370$). Dieser Unterschied in der Effektgrösse ist wahrscheinlich dadurch zu erklären, dass die Versuchspersonen in der ersten Lernphase schon gute Fortschritte hervorbrachten und sich darum in der zweiten Lernphase nicht noch einmal gleich stark verbesserten. Ähnlich gute Fortschritte erzielten die Versuchspersonen auf den Gleichgewichtsunterlagen, welche als Interferenzlernaufgaben dienten. Wie schon auf der Wippe zeigt die statistische Analyse, dass sich die Versuchspersonen höchst signifikant ($p < 0.01$) verbesserten und die Effektstärke ($\eta^2_p = .671$) gross war. Die grossen Effektstärken bei den unterschiedlichen Trainingsunterlagen können einerseits durch die guten Fortschritte der Versuchspersonen und andererseits durch die grosse Probandenanzahl ($n = 53$) erklärt werden. Da bei allen Gleichgewichtsunterlagen über alle Versuchspersonen hinweg ein signifikanter Leistungsgewinn erzielt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Schwierigkeit der Gleichgewichtslernaufgaben für die Versuchspersonen angemessen war. Zusätzlich kann durch die Leistungsgewinne bei allen Gleichgewichtsaufgaben von sogenannten Lernaufgaben gesprochen werden, welche laut Lundbye-Jensen und Kollegen (2011) notwendig sind, dass überhaupt Interferenz auftreten kann. Trotzdem gab es vereinzelt Versuchspersonen, welche sich von der ersten bis zur letzten Serie auf einer Gleichgewichtsunterlage nicht verbesserten. Diese Versuchspersonen, welche sich bei Task-A nicht verbesserten, wurden für die statistische Analyse der Arbeit nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 2.4.1 Datenauswertung). Dies bedeutet natürlich, dass die Statistik für Task-A signifikant ausfällt. Insgesamt wurden aus diesem Grund acht der 61 Probanden gelöscht. Das zeigt immer noch, dass sich zirka 85 % aller Versuchspersonen verbessert haben, was klar für einen Lerneffekt spricht. Um den Lerneffekt zu verdeutlichen, wurde die zweifaktorielle ANOVA inklusive den gelöschten Probanden nachträglich ein zweites Mal durchgeführt ($n = 61$). Die erhaltenen Resultate dieser ANOVA sprechen deutlich für einen Lerneffekt in allen Lernphasen. Sie ergaben jeweils für den Faktor Serie bei Task A1-A4 ($F_{1,57} = 32.838$; $p < .001$; $\eta^2_p = .366$), bei Task B1-B4 ($F_{1,43} = 67.548$; $p < .001$; $\eta^2_p = .611$) und bei Task A5-A8 ($F_{1,57} = 35.265$; $p < .001$; $\eta^2_p = .382$) höchst signifikante Werte. Die Lernresistenz einiger Versuchs-

personen kann durch verschiedene Gründe erklärt werden. Ein denkbarer Grund ist, dass einzelne Versuchspersonen das Gefühl für die horizontale Lage der Gleichgewichtsunterlage (vor allem Wippe) vermissen liessen. Dies führte dazu, dass sie über die Lernphase hinweg stabiler wurden, jedoch gelang es ihnen nicht, die Gleichgewichtsunterlage in die Horizontale zu verschieben. Somit blieben sie häufig etwas nach hinten geneigt, was sich negativ auf die durchschnittliche Abweichung in Grad pro Versuch auswirkte. Deswegen kann in Betracht gezogen werden, bei der Wippe und dem Stabilometer, zusätzlich zur durchschnittlichen Abweichung in Grad, einen zweiten Parameter zu erheben. Als zweiter Parameter könnte, ähnlich wie beim Kreisel und Kippbrett, der Schwankweg über die Dauer des Versuches dienen. Dadurch könnte zusätzlich die gewonnene Stabilität während der Lernphase analysiert werden. Bei der Ermüdung, Motivation, Tagesform und Vorbelastung kann es sich um weitere Faktoren handeln, welche verhinderten, dass sich die Versuchspersonen während einer Lernphase verbesserten. Zur Verteidigung des Studiendesigns ist zu erläutern, dass die Pausendauer zwischen den Versuchen dreimal so lang war wie der eigentliche Versuch. Zwischen den einzelnen Serien und Lernphasen waren die Pausen zudem erhöht. Mittels AF wurde versucht, Motivationsprobleme zu reduzieren. Bezüglich der Tagesform oder Vorbelastung konnten keine speziellen Vorkehrungen getroffen werden.

Die kurzfristigen Leistungsgewinne bei den einzelnen Gleichgewichtslernaufgaben bestätigen die Resultate von Wulf und Kollegen (2001) und Rougier und Kollegen (2011). Die Autoren konnten durch sechsmal 90 s oder 20 Minuten Gleichgewichtstraining Fortschritte auf der trainierten Unterlage oder in der Gleichgewichtsfähigkeit nachweisen. Die vorliegende Studie konnte innerhalb von 16 mal 15 s Training auf einem instabilen Gleichgewichtsgerät ebenfalls signifikante Leistungsgewinne verzeichnen. Somit lag die reine Trainingszeit pro Gerät und Trainingsphase mit 240 s sogar noch unter denjenigen Untersuchungen von Wulf und Kollegen (2001) sowie Rougier und Kollegen (2011). Was darauf hindeutet, dass kurze Gleichgewichtstrainingseinheiten kurzfristige Effekte für die trainierte Gleichgewichtsunterlage sowie verschiedenste Parameter der Gleichgewichtsfähigkeit mit sich bringen.

Die grösste Stärke der vorliegenden Arbeit ist die hohe Versuchspersonenzahl ($n = 61$). Dadurch war es möglich, drei Interventionsgruppen und eine Kontrollgruppe zu formieren, welche eine genügend grosse Versuchspersonenzahl aufwiesen ($n = 15$ o. 16). Eine Schwäche könnte die heterogene Gruppe sein, weil die meisten Versuchspersonen eher sportlich waren und ein ähnliches Alter aufwiesen. Das Alter scheint jedoch kein grosses Problem darzustellen, weil beinahe alle Untersuchungen, die die Gleichgewichtsfähigkeit beinhalten, klare Altersgrenzen definieren. Dies ist der Fall, da bei Kindern die Gleichgewichtsfähigkeit noch

nicht vollkommen ausgebildet ist und bei Senioren die Gleichgewichtsfähigkeit allmählich schwindet. Diese Erkenntnis leitet auf weitere Forschungsarbeiten über. Weil nur zwischen 16-40-jährige an der Untersuchung teilnahmen, können die Ergebnisse nicht auf alle Altersstufen ausgeweitet werden. Noch unbeantwortet bleibt daher, ob für Kinder und Senioren gleiche Schlüsse gezogen werden können, wie bei jungen Erwachsenen. Eventuell sollte zuerst noch untersucht werden, wie sich verschiedene Gleichgewichtslernaufgaben bei Kindern und Senioren verhalten, damit nicht voreilig verallgemeinert wird, dass kurze Gleichgewichtstrainings kurzfristige Fortschritte mit sich bringen.

5 Schlussfolgerung

Die vorliegenden Resultate zeigen, dass sowohl bei bewegungsspezifischen wie auch bei bewegungsunspezifischen zeitnah, nacheinander im Block trainierten Gleichgewichtslernaufgaben keine Interferenz auftrat. Jedoch erzielten die Versuchspersonen kurzfristig auf allen instabilen Gleichgewichtsunterlagen aufgabenspezifische Fortschritte, welche höchst signifikant ausfielen. Die Resultate erlauben es nicht, das Interferenzphänomen, welches für einfache motorische Lernaufgaben nachgewiesen wurde (Brashers-Krug und Kollegen, 1996; Lundbye-Jensen und Kollegen, 2011), auf komplexe Gleichgewichtslernaufgaben auszuweiten. Als Erklärungsansätze für die nicht Ausweitung des Interferenzphänomen können die Konsolidierung oder die Frage der Komplexität von motorischen Lernaufgaben dienen. Für die Konsolidierung von Gleichgewichtslernaufgaben sind, laut Taube und Kollegen (2008), viele Systeme des ZNS involviert. Bei einfacheren motorischen Lernaufgaben wird hingegen angenommen, dass vor allem der M1 in der frühen Phase der Konsolidierungen eine entscheidende Rolle einnimmt. Weil bei einfachen motorischen Lernaufgaben häufig nur einzelne Muskeln und kleine Bewegungsabläufe trainiert werden, können schneller klare Interferenzeffekte entstehen als bei komplexen Lernaufgaben (Wulf & Shea, 2002; Farrow & Buszard, 2017). Da Gleichgewichtslernaufgaben resistent gegenüber Interferenz scheinen, brauchen klassische Gleichgewichtstrainings oder Rehabilitationsprogramme keine Umstrukturierung.

Es ist die erste, dem Autor bekannte Studie, welche Gleichgewichtslernaufgaben auf Interferenz getestet hat. Weitere, differenziertere Untersuchungen, mit angepasstem Studiendesign, welches die in der Diskussion erläuterten Anpassungsvorschläge beinhaltet, sind notwendig, um die erhaltenen Ergebnisse zu bestätigen und diese auf weniger komplexe Gleichgewichtslernaufgaben, auf andere Interferenzlernaufgaben sowie verschiedene Altersstufen auszuweiten. Nur so wird geklärt, ob Gleichgewichtslernaufgaben bei der Konsolidierung gestört werden können.

Literatur

- Beinert, K. & Taube, W. (2013). The effect of balance training on cervical sensorimotor function and neck pain. *Journal of motor behaviour*, 45(3), 271-278. doi:10.1080/00222895.2013.785928
- Brashers-Krug, T., Shadmehr, R. & Bizzi, E. (1996). Consolidation in human motor memory. *Nature*, 382, 252-255.
- Caithness, G., Osu, R., Bays, P., Chase, H., Klassen, J., Kawato, M.,...Flanagan, J. R. (2004). Failure to consolidate the consolidation theory of learning for sensorimotor adaptation tasks. *The Journal of Neuroscience*, 24(40), 8662– 8671. doi:10.1523/JNEUROSCI.2214-04.2004
- Cothros, N., Köhler, S., Dickie, E. W., Mirsattari, S. M. & Gribble, P. L. (2006). Proactive interference as a result of persisting neural representations of previously learned motor skills in primary motor cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18(12), 2167–2176.
- Cothros, N., Wong, J. & Gribble, P. L. (2009). Visual cues signaling object grasp reduce Interference in motor learning. *Journal of neurophysiology*, 102, 2112–2120. doi:10.1152/jn.00493.2009
- DiStefano, L. J., Clark, M. & Padua, D. A. (2009). Evidence supporting balance training in healthy individuals: A systemic review. *Journal of strength & conditioning research*, 23(9), 2718-2731. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1f7c5
- Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J. & Studenski, S. (1990). Functional reach: A new clinical measure of balance. *Journal of gerontology*, 45(6), M192-M197.
- Farrow, D. & Buszard, T. (2017). Exploring the applicability of the contextual interference effect in sports practice. *Progress in Brain Research*. doi:https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.07.002
- Fitzpatrick, R., Rogers, D. K. & McCloskey, D. I. (1994). Stable human standing with lower-limb muscle afferents providing the only sensory input. *Journal of Physiology*, 480(2), 395-403.
- Freeman, M. A. R., Dean, M. R. E. & Hanham, I. W. F. (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *The journal of bone and joint surgery*, 47B(4), 678-685.
- Giboin, L. S., Gruber, M. & Kramer, A. (2015). Task-specificity of balance training. *Human movement science*, 44, 22-31.

- Goedert, K. M. & Willingham D. B. (2002). Patterns of interference in sequence learning and prism adaptation inconsistent with the consolidation hypothesis. *Learning and memory*, 9, 279–292. doi:10.1101/lm.50102
- Granacher, U., Gollhofer, A. & Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Research quarterly for exercise and sport*, 81(3), 245-251. doi:org/10.1080/02701367.2010.10599672
- Granacher, U., Gollhofer, A. & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait & posture*, 24, 459-466. doi:10.1016/j.gaitpost.2005.12.007
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Maestrini, L., Zahner, L. & Gollhofer A. (2011). Can balance training promote balance and strength in prepubertal children?. *The journal of strength and conditioning research*, 25(6), 1759-66. doi:10.1519/JSC.0b013e3181da7886
- Gruber, M. & Gollhofer A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European journal of applied physiology*, 92, 98-105. doi:10.1007/s00421-004-1080-y
- Hafström, A., Fransson, P.-A., Karlberg, M., Ledin, T. & Magnusson, M. (2002). Visual influence on postural control, with and without visual motion feedback. *Acta Otolaryngologica*, 122(4), 392-397. doi:10.1080/000164802600000076
- Heitkamp, H. C., Horstmann, T., Mayer, F., Weller, J. & Dickhuth, H. H. (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *International journal of sports medicine*, 22, 285-290.
- Henriksson, M., Ledin, T. & Good, L. (2001). Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. *The American journal of sports medicine*, 29(3), 359-366. doi:10.1177/03635465010290031801
- Keller, M., Pfusterschmied, J., Buchecker, M., Müller, E. & Taube, W. (2012). Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22, 471-477. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01268.x
- Kim, S., Oh, Y. & Schweighofer, N. (2015). Between-trial forgetting due to interference an time in motor adaptation. *PLoS ONE 10(11)*, e0142963. doi:10.1371/journal.pone.0142963
- Krakauer, J. W. (2009). Motor learning and consolidation: The case of visuomotor rotation. *Advances in experimental medicine and biology*, 629, 405–421. doi:10.1007/978038777064-2_21

- Krakauer, J. W., Ghez, C. & Ghilardi, M. F. (2005). Adaptation to visuomotor transformations: Consolidation, interference, and forgetting. *The journal of neuroscience*, 25(2), 473–478. doi:10.1523/JNEUROSCI.4218-04.2005
- Kümmel, J., Kramer, A., Giboin, L. S. & Gruber, M. (2016). Specificity of balance training in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports medicine*, 46(9), 1261-71.
- Lackner, J. R., DiZio, P., Jeka, J., Horak, F., Krebs, D. & Rabin, E. (1999). Precision contact of the fingertip reduces postural sway of individuals with bilateral vestibular loss. *Experimental brain research*, 126, 459–466.
- Lauber, B. & Keller, M. (2014). Improving motor performance: Selected aspects of augmented feedback in exercise and health. *European Journal of Sport Science*, 14(1), 36-43.
- Lauber, B., Lundbye-Jensen, J., Keller, M., Gollhofer, A., Taube, W. & Leukel, C. (2013). Cross-Limb interference during motor learning. *PLoS ONE*, 8(12), e81038. doi:10.1371/journal.pone.0081038
- Lee, T. D. & Weeks, D. J. (1987). The beneficial influence of forgetting on shortterm retention of movement information. *Human Movement Science*, 6(3), 233-245. doi:org/10.1016/0167-9457(87)90014-5
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A. & Granacher, U. (2015a). Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(3), 557-576.
- Lesinski, M., Hortobágyi, T., Muehlbauer, T., Gollhofer, A. & Granacher, U. (2015b). Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 45, 1721-1738. doi:10.1007/s40279-015-0375-y
- Lewis, D. & Miles, G. H. (1956). Retroactive interference in performance on the star discriminator as a function of amount of interpolated learning. *Perceptual and motor skills*, 6, 295-298.
- Lundbye-Jensen, J., Petersen, T. H., Rothwell, J. C. & Nielsen, J. B. (2011). Interference in ballistic motor learning: Specificity and role of sensory error signals. *PLoS ONE*, 6(3), e17451.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory-a century of consolidation. *Science*, 287, 248 – 251.
- McGuine, T. A. & Keene, J. S. (2006). The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *The American journal of sports medicine*, 34(7), 1103-1111. doi:10.1177/0363546505284191

- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik - Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Morita, Y., Ogawa, K. & Uchida, S. (2016). Napping after complex motor learning enhances juggling performance. *Sleep Science*, 9(2), 112-116. doi:10.1016/j.slsci.2016.04.002
- Muellbacher, W., Ziemann, U., Wissel, J., Dang, N., Kofler, M., Facchini, S.,...Hallett, M. (2002). Early consolidation in human primary motor cortex. *Nature*, 415, 640-644. doi: 10.1038/nature712
- Müller, G. E., & Pilzecker, A. (1900). Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Zeitschrift für Psychologie Ergänzungsband*, 1, 1-300.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L. & Hewett, T. E. (2006). The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 20(2), 345-353.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Brækken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O.-E. & Bahr, R. (2003). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players: A prospective intervention study over three seasons. *Clinical journal of sport medicine*, 13(2), 71-78.
- Myklebust, G., Engebretsen, L., Brækken, I. H., Skjølberg, A., Olsen, O.-E. & Bahr, R. (2007). Prevention of noncontact anterior cruciate ligament injuries in elite and adolescent female team handball athletes. *Instructional course lectures*, 56, 407-418.
- Nashner, L. M., Shupert, C. L., Horak, F. B. & Black, F. O. (1989). Organization of posture controls: An analysis of sensory and mechanical constraints. *Progress in brain research*, 80, 411-418. doi:org/10.1016/S0079-6123(08)62237-2
- Rasool, J. & George, K. (2007). The impact of single-leg dynamic balance training on dynamic stability. *Physical Therapy in Sport*, 8, 177-184. doi:10.1016/j.ptsp.2007.06.001
- Robertson, E. M, Pascual-Leone, A. & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nature Reviews Neuroscience* 5, 1-7.
- Rogers, M. W., Johnson, M. E., Martinez, K. M., Mille, M. L. & Hedman, L. D. (2003). Step training improves the speed of voluntary step initiation in aging. *The journals of gerontology, series A: Biological sciences and medical sciences*, 58(1), 46-51.
- Rougier, P.R., Mathias, M. & Tanzi, A. (2011). Short-term effects on postural control can be evidenced using a seesaw. *Neuroscience Letters*, 488, 133-137. doi:10.1016/j.neulet.2010.11.015
- Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (2011). *Motor control and learning. A behavioral emphasis* (fifth edition). United States of America: Human Kinetics.

- Shadmehr, R. & Brashers-Krug, T. (1997). Functional stages in the formation of human long-term motor memory. *The Journal of Neuroscience*, 17(1), 409–419.
- Shaffer, S. W. & Harrison, A. L. (2007). Aging of the somatosensory system: A translational perspective. *Physical therapy*, 87(2), 193-207. doi:10.2522/ptj.20060083
- Sherrington, C., Whitney, J. C., Lord, S. R., Herbert, R. D., Cumming, R. G. & Close, J. C. T. (2008). Effective exercise for the prevention of falls: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the american geriatrics society*, 56(12), 2234-2243. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.02014.x
- Taube, W., Gruber, M. & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta physiologica*, 193, 101–116. doi:10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x
- Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F. & Gollhofer, A. (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *International journal of sports medicine*, 28, 999-1005.
- Taube, W., Leukel, C. & Gollhofer, A. (2008). Influence of enhanced visual feedback on postural control and spinal reflex modulation during stance. *Experimental brain research*, 188, 353–361. doi:10.1007/s00221-008-1370-4
- Taube, W., Lorch, M., Zeiter, S. & Keller, M. (2014). Non-physical practice improves task-performance in an unstable, perturbed environment: motor imagery and observational balance training. *Frontiers in human neuroscience*, 8(972), 1-10. doi:10.3389/fnhum.2014.00972
- Verhagen, E., Van der Beek, A., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R. & Van Mechelen, W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(6), 1385-1393. doi:10.1177/0363546503262177
- Walker, M. P., Brakefield, T., Hobson, J. A. & Stickgold, R. (2003). Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, 425, 616-620. doi:10.1038/nature01930
- Wulf, G., McNevin, N. & Shea, C. H. (2001). The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *The quarterly journal of experimental psychology*, 54(4), 1143-1154. doi:10.1080/02724980143000118
- Wulf, G. & Shea, C. H. (2002). Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(2), 185-211.

Anhang (Probandenblatt)



UNIVERSITÉ DE Fribourg
UNIVERSITÄT FREIBURG

SCIENCES DU MOUVEMENT ET DU SPORT
BEWEGUNGS- UND SPORTWISSENSCHAFTEN

Interferenzstudie mit verschiedenen Gleichgewichts-Tasks

Name			Vorname		
Datum			Geburtsdatum		
Grösse			Gewicht (kg)		
Gruppe	<input type="checkbox"/> Stabilo	<input type="checkbox"/> Kreisel	<input type="checkbox"/> Kippbrett	<input type="checkbox"/> Kontrolle	<input type="checkbox"/> Random
Proband-Nr.			Level Task B		

Kalibration

Wippe	<input type="checkbox"/>	Stabilo	<input type="checkbox"/>
-------	--------------------------	---------	--------------------------

COP

1 x 90 sec	<input type="checkbox"/>
------------	--------------------------

Niveau Wippe

Feder 3.4	<input type="checkbox"/> 20s	Feder 2.0	<input type="checkbox"/> 20s	Feder 1.4	<input type="checkbox"/> 20s
Feder 3.0	<input type="checkbox"/> 20s	Feder 1.8	<input type="checkbox"/> 20s	Feder 1.25	<input type="checkbox"/> 20s

Wippe (Task-A) 4 Serien à 4 x 15 sec

Versuch	1. Serie 0' 0"	2. Serie 5' 0"	3. Serie 10' 0"	4. Serie 15' 0"
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4' Pause

Task-B 4 Serien à 4 x 15 sec

Versuch	1. Serie 23' 0"	2. Serie 28' 0"	3. Serie 33' 0"	4. Serie 38' 0"
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4' Pause

Wippe (Task-A) 4 Serien à 4 x 15 sec

Versuch	1. Serie 46' 0"	2. Serie 51' 0"	3. Serie 56' 0"	4. Serie 61' 0"
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

XX.XX.2017

Dank

Als erstes möchte ich meinem Betreuer Michael Wälchli ein grosses Dankeschön aussprechen. Es war stets angenehm mit dir zusammen zu arbeiten und du warst mir immer eine grosse Hilfe in allen Bereichen.

Weiter möchte ich mich bei Laura Ruffieux bedanken, für die Zusammenarbeit bei der Datenerhebung. Den Versuchspersonen möchte ich danken für das Engagement während den Messungen und die Zeit, die sie aufgeopfert haben. Sandro Kolly und Björn Egger danke ich, für das Durchlesen der Arbeit.

Zu gut der Letzt verdienen meine Eltern Nelly und Anton Egger ein besonderes Dankeschön. Denn ohne eure Unterstützung, während meinem Studium, wäre ich nicht so weit gekommen.